Avis Technique 2/13-1535

Edition corrigée du 11 février 2015

Verrière

Roof glazing

Glasdach

Coussins à membranes ETFE

Titulaire : Société ***seele*** France S.A.S.
28 rue Schweighaeuser
FR-67000 STRASBOURG

Tél. : +33 155 25 29 84
Fax : +33 388 60 75 99
E-mail : info.fr@seele.com
Internet : http://www.seele.com/adresse-strassburg.html

Usines : Société ***seele*** cover GmbH
Bahnhofstr. 28
D - 83119 Obing
D -+49 8624 – 8969 – 0

Société ***seele*** COVERTEX MEMBRANES
No 4, Lane 1511, XING Road
XINQIAO TOWN, SONGJIANG DISTRICT
SHANGHAI 201612, P.R. CHINA

Commission chargée de formuler des Avis Techniques
(arrêté du 21 mars 2012)

Groupe Spécialisé n° 2

Constructions, Façades et Cloisons Légères

Vu pour enregistrement le 26 juillet 2013

Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - Fax : 01 60 05 70 37 - Internet : www.cstb.fr

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB. Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site internet du CSTB (http://www.cstb.fr)
© CSTB 2015

Le Groupe Spécialisé N° 2 «Constructions, Façades et Cloisons Légères» de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné, le 29 janvier 2013, le procédé *Coussins à membranes ETFE*, présenté par la société seele. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après. Cet Avis est formulé pour les utilisations en France européenne.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Verrières composées de coussins gonflables, eux-mêmes composés de 2, 3 ou 4 couches de film en ETFE (Ethylène Tétra Fluor Ethylène). Les coussins sont gonflés avec de l'air à une pression de 300 ± 50 Pa.

Les coussins sont réalisés par un assemblage de lés avec des recouvrements transversaux thermo-soudés en usine.

1.2 Identification

Les emballages font référence à la marque ***seele***.

2. AVIS

2.1 Domaine d'emploi accepté

Verrières en coussins gonflables pour des bâtiments d'usage courant (de logement, d'enseignement, de bureaux, d'hôpitaux ...) et utilisables dans les conditions d'exposition pour lesquelles l'action résultante unitaire correspondant à la pression de vent normal est inférieure ou égale à 1200 Pa sauf justification particulière selon la norme NF EN 13830.

Pour les systèmes utilisant le profilé SC-01, le drainage des eaux éventuelles d'infiltration est réalisé par une tôle placée entre l'ossature support et le profilé SC-01. L'ensemble est fixé mécaniquement par des boulons avec un dispositif d'étanchéité. Toute défaillance de ce dispositif de ce système d'étanchéité pourra être à l'origine d'infiltration d'eau. En conséquence, ce type de système est à utiliser pour des locaux dont la destination permet de considérer que d'éventuelles infiltrations d'eau ne sont préjudiciables.

Le présent Avis ne vise pas les fenêtres intégrées dans la verrière.

2.2 Appréciation sur le procédé

Stabilité

Les verrières ne participent pas, par nature, à la stabilité des bâtiments, laquelle incombe à la structure de ces derniers.

La stabilité propre des verrières sous les charges climatiques peut être convenablement assurée dans le domaine d'emploi accepté.

Stabilité en zone sismique

Les coussins en ETFE ne présentent pas par nature de risque particulier vis-à-vis des actions sismiques.

La satisfaction aux exigences parasismiques du système utilisant le procédé de verrière en coussins gonflables doit être appréciée au cas par cas selon les règles PS92 (NF P06-013) chapitre 15 ou les normes Eurocode dans les mêmes conditions que pour une verrière traditionnelle pour les ossatures et ses fixations.

Un calcul sismique de l'ossature primaire soutenant la verrière doit être réalisé indépendamment du procédé de coussins gonflable en ETFE.

Sécurité en cas d'incendie

La convenance du point de vue de la sécurité en cas d'incendie doit être examinée, cas par cas, en fonction des divers règlements concernant l'habitation, les établissements recevant du public, les immeubles de grande hauteur, les lieux de travail, etc.

Sécurité aux chocs

Elle est normalement assurée.

Elle est à vérifier au cas par cas vis-à-vis d'un choc vertical extérieur de 1200J, pour les coussins de dimensions supérieures à 7500 mm x 3500 mm.

Sécurité des intervenants

La mise en œuvre en toiture fait généralement appel à des dispositifs spécifiques qui doivent être approuvés par les organisations compétentes en prévention des accidents. Elle nécessite en outre le recours à des dispositifs anti-chute selon la réglementation en vigueur.

Isolation thermique

D'une manière générale, les caractéristiques thermiques des verrières en coussins gonflables jouent un rôle important sur le calcul des déperditions thermiques à travers l'enveloppe en hiver et sur le confort des occupants en été. La vérification du respect de la réglementation thermique s'effectue selon les cas soit à l'échelle du bâtiment (RT 2012), soit à l'échelle de la paroi et du bâtiment (RT 2005).

La RT 2005 (arrêté du 24 mai 2006) fixe une exigence minimale à respecter pour les coefficients U_{cw} des verrières et des exigences globales à l'échelle du bâtiment complet ($U_{bât}$, consommation, Température intérieure de confort T_{ic}).

La RT 2012 (Arrêtés du 26 octobre 2010 et du 28 décembre 2012), n'impose pas d'exigences minimales sur les performances thermiques des composants. La transmission thermique surfacique (U), les facteurs solaires (S) et les transmissions lumineuses des façades (T_L) doivent néanmoins être déterminées pour chaque orientation pour être utilisées comme donnée d'entrée dans le calcul du besoin bioclimatique (Bbio), de la consommation globale du bâtiment (C_{ep}) et de la température intérieure de confort (T_{ic}) pour lesquels les Arrêtés fixent une exigence réglementaire.

La vérification du respect de la réglementation thermique s'effectue au cas par cas en utilisant les méthodes de calculs réglementaires (Th-CE, Th-BCE et Th-bât).

- Le calcul du coefficient de transmission surfacique U de la paroi doit être effectué conformément aux règles Th-U.
- Le calcul du facteur solaire S doit être effectué conformément aux règles Th-S.
- Le calcul de la transmission lumineuse doit être effectué conformément aux règles Th-L.

Etanchéité

L'étanchéité à l'air et à l'eau peut être assurée dans le domaine d'emploi accepté.

Isolement acoustique

Les performances seront à vérifier au cas par cas en fonction des exigences et règlements.

2.3 Durabilité - Entretien

L'expérience en œuvre ont montré que le film en ETFE ne subissait ni le jaunissement, ni la baisse de transmission lumineuse et ni l'affaiblissement des propriétés mécaniques pendant au moins dix ans.

Le changement d'aspect de la verrière gonflable à moyen et à long terme ne peut être totalement exclu, sous l'action des conditions atmosphériques. Toutefois, Les risques ne devraient avoir que des effets d'aspect (salissures).

Le risque de condensations passagères à l'intérieur des coussins ne peut être totalement exclu, risquant d'entraîner à terme le développement de moisissures nuisibles à l'aspect.

Les risques d'infiltration d'eau sont limités, comme pour les verrières traditionnelles, par un système de drainage à 2 niveaux (calfeutrement externe et profilés drainants).

Le risque de dégonflement des coussins lié à une coupure électrique peut être limité par le raccordement du système de gonflage à un circuit électrique sécurisé.

Le comportement et l'entretien prévisible des profilés extérieurs sont analogues à ceux d'une verrière avec serreur en aluminium.

La réparation confère à l'élément de verrière réparé la même durabilité que celle attendue d'un élément d'origine.

2.4 Fabrication et contrôle

Les dispositions prises par la Société ***seele*** sont propres à assurer la constance de qualité des coussins et des accessoires associés aux profilés.

Les dispositions de fabrication adoptées par les sociétés applicatrices du système, et respectant les prescriptions de la Société ***seele***, permettent de compter sur une constance de qualité suffisante.

2.5 Mise en œuvre

La mise en œuvre est réalisée par la société ***seele*** ou par des entreprises spécialisées avec l'assistance technique de la Société ***seele***.

Elle fait appel à des dispositifs extérieurs de montage (nacelles, échafaudages ...) et de levage.

Elle nécessite certaines précautions, notamment pour la mise en place de chevauchement des garnitures d'étanchéité au raccordement des profilés pour le serrage des vis de fixation.

2.6 Cahier des Prescriptions Techniques

2.61 Conditions de conception

Les éléments d'ossature secondaire et leurs fixations seront calculés et vérifiés en utilisant les règles de calculs et les normes en vigueur.

Le dimensionnement des coussins est réalisé par la société ***seele*** avec un logiciel propre à la société. Un audit du système de calcul est assuré par le CSTB.

Les contraintes limites données au § 7 correspondent à la limite élastique déterminée par ***seele*** suite à une campagne d'essai interne.

Pour l'appréciation du risque de rétention d'eau ou de neige, il devra être tenu compte des éventuelles déformations de l'ossature primaire et des déformations des coussins sous poids propre et charge non pondérée.

2.62 Conditions concernant la fabrication

Les coussins sont fabriqués par ***seele*** dans leur usine en Allemagne (Obing) ou en Chine (Shanghai).

Toutes les opérations de découpe, perçage des garnitures d'étanchéité devront être réalisées avec soin, en atelier, à l'aide de l'outillage spécifique.

2.63 Conditions concernant la réparation et la maintenance

La Société ***seele*** est tenue de fournir à ses clients une notice de maintenance (examens à effectuer, leur périodicité) et d'entretien détaillée (produits d'entretien ou de nettoyage identifiés par leur nature chimique).

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du procédé Coussins à membranes ETFE dans le domaine d'emploi accepté, est appréciée favorablement.

Validité

Jusqu'au 31 janvier 2016.

Pour le Groupe Spécialisé n° 2
Le Président
D. ROYER

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Ce premier Avis Technique fait suite à plusieurs Appréciations Techniques d'Expérimentation réalisées depuis 2008.

Les risques de désordre liés à des percements par des oiseaux ne sont pas exclus sur les films sérigraphiés.

Cette technique est soumise à un contrat d'entretien et de maintenance.

Le non contact des films ETFE avec la charpente métallique sera vérifié sous chargement ELU.

La zone d'accessibilité est limitée à 2,50 mètres pour éviter les dégradations volontaires.

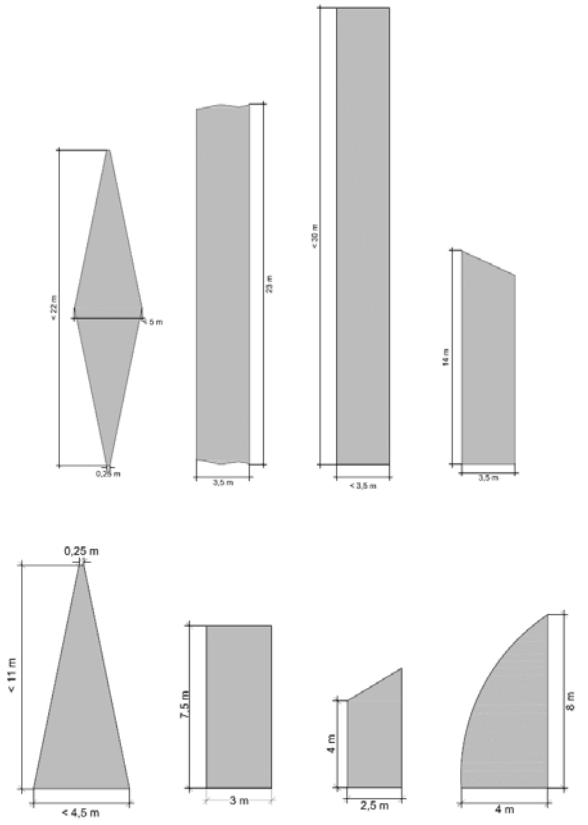
Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 2
M. COSSAVELLA

Dossier Technique
établi par le demandeur

A. Description

1. Principe

Parois transparentes ou translucides de toiture, ou abri pour tous types de bâtiments, qui sont composées de coussins avec la morphologie suivante :



Les coussins sont composés de 2, 3 ou 4 couches de film en ETFE.

Une pente minimum devrait être respectée pour assurer l'évacuation de l'eau dans le cas du dégonflage du film. La pente minimum est calculée en fonction de la géométrie des coussins.

2. Matériaux, produits et composants

2.1 Coussins ETFE

Film ETFE

La matière utilisée dans les coussins à membrane ETFE est un matériau polymère viscoélastique obtenu par copolymérisation synthétique. Celui-ci est composé des unités monomère modifiées d'Ethylène et de fluor éthylène. Les monomères sont formés par 3 éléments chimiques, le fluor (F), le carbone © et l'hydrogène (H).

Coussin réalisé avec un minimum de 2 couches de film jusqu'à 4 couches avec une épaisseur de film de 50-300 microns selon les besoins.

La zone d'installation des coussins à membrane ETFE est exclue si la hauteur d'installation est inférieure à 2,50 mètres sans dispositif de protection spécifique afin d'éviter les dégradations volontaires.

Les finitions disponibles en film :

- T transparent,
- C teinté,
- M mate,
- P impression sérigraphiée.

Tableau 1 – épaisseur des films

Epaisseur µm	50	100	150	200	250	300
Poids g/m²	87,5	175	262,5	350	437,5	525

Tableau 2 – caractéristiques mécaniques

Contrainte de traction à rupture	$F_{u,d(f)}$	>40	MPa	EN ISO 527-1
Contrainte de traction à rupture de la soudure	$F_{y,d,(ws)}$	>30* - 27**	MPa	
Contrainte de traction à 10% à l'état neuf		>18	M Pa	EN ISO 527-1
Contrainte de traction après 5000h UV		>40	M Pa	EN ISO 527-1
Allongement à rupture		>300	%	EN ISO 527-1

*épaisseur nominale des membranes ≤ 250 µm

**épaisseur nominale des membranes > 250 µm

Résistances minimales suivant EN 527-1 / 527-3, géométrie échantillon type 2 (bandes d'échantillons)	
Effort de tension membrane / bourrelet de soudure	$f_{y, d (f, ws)}$ ≥ 21 MPa
Résistance à la traction soudure	$f_{u, d (ws)}$ ≥ 30 MPa* / 27 MPa**
Résistance à la traction membrane	$f_{u, d (f)}$ ≥ 40 MPa***

* épaisseur nominale des membranes à assembler ≤ 250 µm.

** épaisseur nominale des membranes à assembler > 250 µm.

*** La résistance à la traction minimale de la membrane est, à l'état neuf, ainsi qu'après 10 ans $f_{u, d (f), 10 years}$ ≥ 40 MPa.

Selon les essais réalisés par ***seele***, aucune différence n'a été constatée en propriétés mécaniques entre les films.

Les coussins gonflables en ETFE sont classés au feu B-s1, d0 ou M2.

Ourlet de rive dite «Keder»

La rive des coussins est fermée avec une poche ETFE d'épaisseur 200 micron minimum autour d'un cordon en EPDM extrudé de diamètre 6 mm, dureté 80 ± 5 Shore A, fabriqué selon la norme DIN 10204.

Valve de gonflage en ETFE

La valve des coussins est formée d'éléments fraisés ronds et étanches à l'air, en matériaux aluminium EN-AW6060 T6/T66 anodisé selon le label QUALANOD avec la catégorie propre au projet.

2.2 Profilé aluminium

(Cf. figures 1 à 3)

Les profilés de base pour la fixation des coussins, références SC-01, SC-02 et SC-11, sont réalisés par extrusion en aluminium EN-AW6060 /T6/T66 suivant la norme NF EN 485-1, NF EN 573-1 à 4 et NF EN755-1 à 5 avec des rainures pour l'insertion des joints d'étanchéité en EPDM et d'une alvéovis pour la fixation du capot serreur.

Deux types de profil existent :

- SC-01, profil symétrique pour maintenir un coussin de chaque côté ;
- SC-02 et SC-11, profil dissymétrique pour le maintien d'un seul coussin.

Les capots serreur sont réalisés par extrusion en aluminium EN-AW6060 / T6/T66 suivant la norme NF EN 485-1, NF EN 573-1 à 4 et NF EN755-1 à 5. Ces capots sont percés avec des trous de diamètre 7 mm espacés de 250 mm pour le passage d'une vis. Les vis du capot serreur en inox avec un diamètre de ø6.5 mm x 32 mm, une rondelle étanche, sont vissées dans la rainure (alvéovis) du profil de base.

Le cordon de rive des coussins dit 'keder', est maintenu dans un profilé en aluminium extrudé en forme de 'C', suivant la norme EN755-2. Ce profil est fixé sur le profilé de base.

Sur demande, les profilés peuvent être anodisés ou laqués sous label Qualicoat ou Qualanod.

Les joints d'étanchéité en EPDM sont des profilés extrudés en forme (profilé d'angle ou profilé capot) avec une dureté de 60 ± 5 Shore A, conforme à la norme EN 10204.

Les fixations visées du profil de base sur l'élément de structure primaire sont réalisées par des boulons M10 avec une vis six pans en acier inox A2 suivant la norme EN ISO 10642. L'espacement des fixations est de 1000 mm en zone courante (profil de base SC-01) et de 500 mm en zone de chéneau ou en bord de toiture (profil de base SC-02 et SC-11).

L'ensemble des câbles anti pigeon sont des câbles en Inox type 1.4401 de diamètre de 1 à 3 mm avec des ressorts en inox porté par des supports en aluminium.

2.3 Equipement de gonflage

(Cf. figures 4 et 19)

Le système de gonflage de coussins est constitué d'un réseau de tuyau d'air (conduits d'air, conduits d'entrée et de sortie) et d'une unité de gonflage (soufflerie principale et secondaire, assécheur d'air).

Le réseau d'air

Le système de conduits d'air est réalisé en circuit fermé (possibilité d'un circuit ouvert, si nécessaire). Il ne comporte pas d'éléments pouvant transférer des charges et donc ne fait pas l'objet d'un calcul statique.

Le système de conduits d'air est fixé sur les éléments de la structure porteuse. Des raccords de dilatation sont prévus en tuyau flexible EPDM.

Le système de conduits d'air est composé des éléments et des matériaux suivants:

Conduits d'air primaire - d >50 mm (100 à 300 mm)

- tuyau métallique agrafé, matériau acier S355, galvanisé,
- tuyau métallique agrafé, matériau: aluminium EN-AW 5754 (suivant NF EN 485-1, NF EN 573-1 à -4 et NF EN 755-1 à -5),
- tube rond, matériau: PVC-U, résistant aux UV.

Conduits d'air - raccord au coussin - d = 50 mm

Conduit flexible raccordant le circuit d'air primaire au coussin.

Tuyaux flexibles, variantes réalisées en matière de polymère de fluor, par exemple : FEP ou ETFE.

Accessoires

Colliers à tube et moyens de fixation correspondants (vis, écrous, rondelles), en acier inox, classe A2 ou A4, pour les piscines ou A5, pour les eaux thermales.

L'unité de gonflage

Le système de pression est composé d'une ou de plusieurs stations de gonflage réglables.

Ces stations sont composées d'une soufflerie principale et d'une soufflerie secondaire (pour des raisons de sécurité et de redondance), d'un groupe électrique de secours, si nécessaire, en plus de la connexion au réseau public d'électricité de 230V / 400V.

La puissance et le nombre de souffleries dépendent du volume du coussin à alimenter et de la pression intérieure du coussin à atteindre. Une station peut, au maximum, fournir l'air de soutien à une surface de coussin d'environ 4 000 m².

Les souffleries principales et secondaires sont dimensionnées de manière identique, elles peuvent fonctionner en automatique ou en manuelle.

Les souffleries principales et secondaires fonctionnent par redondance, de manière alternée automatiquement ou manuellement de façon hebdomadaire. Cette redondance vise à une usure régulière des souffleries ainsi qu'à pouvoir relever des erreurs de fonctionnement. Elles peuvent aussi fonctionner simultanément de sorte à fournir à peu près le double du volume d'air d'un coussin.

Technique de mesure d'air et de régulation

Pour chaque unité de gonflage, le système de mesure d'air et de régulation de la pression est constitué d'un capteur de mesure de pression pour la régulation de la soufflerie et d'instruments de mesures complémentaires tel que capteurs de pression pmin et pmax. Des capteurs de vent, de neige, de température, d'indication de manque de pression ou de l'alarme visuelle ou acoustique de manque de pression, etc. peuvent compléter ce système.

Le système de mesure d'air et de régulation est constitué d'un capteur de mesure d'air par coussin, d'un capteur de mesure de pression pour la régulation de la pression de la soufflerie, et d'instruments de mesures supplémentaires, comme les capteurs de vent, de neige, de température, d'indication de manque de pression ou de l'alarme visuelle ou acoustique de manque de pression, etc.

La différence de pression produite par la soufflerie par rapport à celle de l'environnement correspond au standard de 300 Pascal (Pa) (pression nominale intérieure, p_{nom}. Elle varie à l'intérieur de la plage de tolérance réglée. La tolérance normale correspond au standard de 50 Pa. La soufflerie se met en marche dès lors que l'on passe sous la valeur de tolérance (pression minimale). Elle se coupe dès lors que la tolérance supérieure est atteinte.

Pour stabiliser le coussin dans le cas de charges de vent, la pression nominale intérieure est suffisante. Plus les valeurs de seuil inférieur et supérieur sont faibles (plage de tolérance), plus la soufflerie se mettra en marche régulièrement.

La soufflerie fournit une puissance maximale $p_{max} \leq 1\,000$ Pa. En cas de charges de neige, la soufflerie peut être poussée jusqu'à sa puissance maximale.

La conception de la puissance de soufflerie, du réseau des conduits d'air et des sections des tuyaux est effectuée par SEELE. Les sections des tuyaux du réseau d'air sont généralement ø50 mm pour l'alimentation du coussin et ø100 à 300mm pour la station d'alimentation.

2.4 Accessoires

(Fournis par ***seele***).

Bande butyle

Bande auto-adhésive double face pour auto soudure, matière d'étanchéité flexible et à élasticité permanente sur la base du butyle pour un assemblage étanche des éléments en PVC.

Bande PE

Bande auto-adhésive d'étanchéité en polyéthylène, à cellules closes et microporeuse pour un assemblage étanche d'éléments exposé à un fort rayonnement UV.

Bande Kompri

Bande d'étanchéité auto-adhésive sur une face, à cellule ouverte imbibée d'acrylate pour un assemblage étanché de joints de dilatation. Cette bande d'étanchéité gonfle lentement après sa mise en œuvre.

Loctite 511 d'origine Henkel

Joint liquide pour étanchéité (pas de blocage) pour les connexions vissées.

Chéneau de condensation

Elément en tôle d'acier, soudée aux jointures avec une membrane PVC-U renforcée par tissu.

3. Fabrication

Coussins

L'ETFE employé par *seele* pour la confection des membranes est une matière synthétique polymère thermoplastique et viscoélastique par copolymérisation. Il est composé par les unités monomères, l'éthylène et le tétra-fluor-éthylène. Les monomères sont constitués à partir des éléments chimiques que sont le fluor (F), le carbone (C) et l'hydrogène (H).

Pour le transformer en film il est chauffé à 380° C et extrudé à travers des enrouleurs.

Cette thermo-plasticité signifie que l'ETFE, par apport de chaleur, est extrudable, formable et soudable. En raison de cette viscoélasticité, les propriétés mécaniques de la membrane ETFE sont principalement dépendantes du degré de charge, du temps (par exemple durée de charge) et de la température. Le concept de dimensionnement employé par ***seele*** tient compte de ce fait par une diminution des résistances moyennant un coefficient de réduction.

Le matériau de la membrane est livré sous forme de rouleaux (largeur maximale. du rouleau 1 550 à 2 000 mm). Les pièces de membranes sont ensuite thermiquement assemblées pour former un coussin.

L'ETFE est utilisé pour ses propriétés mécaniques ainsi que pour sa grande transparence. Le film a une très haute résistance à la déchirure (400 N/mm²) en raison de sa structure moléculaire. Il est très stable sous l'ultra violet avec des essais indiquant une résistance au delà de 25 ans. Egalement il est autonettoyant sous la pluie.

Les films ETFE des fabricants suivant sont utilisés :

- Nowofol (film de marque Nowoflon),
- AGC (film de marque Fluon)
- PATI,
- Saint Gabain (film de marque Norton).

Tableau 3

	Nowofol	AGC	Pati	Saint Gobain
T	**X**	**X**	**X**	**X**
C	**X**	**X**		
M		**X**		
P	**X**	**X**	**X**	**X**

seele emploie pour une construction (toiture, paroi...) exclusivement des membranes ETFE provenant d'un fournisseur unique (voir tableau 4). Les membranes ETFE issues de productions différentes ne sont jamais mélangées et soudées.

Phasage dans la fabrication d'un coussin

La fabrication des coussins à membrane ETFE ***seele*** se déroule schématiquement comme suit :

Vérification des bases des études

- Etudes d'exécution à partir d'un modèle 3D de la structure primaire de l'architecte.
- Statique validée de la structure primaire (acier, bois, ...) de l'ingénieur structure.
- Statique validée de la structure secondaire (cousins à membrane ETFE) de l'ingénieur structure.
- Contrat de construction, registre des prestations, description des prestations, détermination des interfaces et spécification de l'ouvrage des coussins à membrane ETFE suivant le projet.
- Vérification de l'offre et commande des prestations des sous-traitants.

Etudes de l'ouvrage

- Conception d'un modèle 3D du système linéaire de la structure secondaire (interface géométrique avec la structure primaire).
- Dessins de construction de la structure secondaire (profils serreurs, appuis, ...).
- Conception d'une statique vérifiable de la structure secondaire (coussins à membrane ETFE avec connexion de rive) ; le cas échéant une statique des états ou étapes de montage.
- Accord entre commanditaire, architecte, ingénieur structure, instituts de vérification, administration et autres ouvrages.
- Arrêté et commande des éléments à fournir et des prestations des entreprises sous-traitantes.
- Exécution de la détermination de la forme et de l'interface avec logiciel FE.
- Préparation du travail concernant la fabrication, le transport et le montage (plan d'installation du chantier, planning des phases et du montage, plan de fabrication, plan d'assurance qualité et de vérification spécifique au projet, plan d'emballage et de réception ...).
- Contrôle de toutes les prestations des études d'atelier concernant la conformité avec les bases des études par le chef de projet; contrôle du respect des directives de qualité spécifiques au projet par le chef de projet, ou, en cas d'écart, par le surveillant interne de la qualité de chez ***seele***.

Fabrication de la structure primaire (coussins à membrane ETFE) dans l'entreprise, y compris les contrôles

- Contrôle de l'entrée des marchandises et des éléments livrés, en particulier les membranes ETFE (en rouleaux) suivant le plan QS ***seele***.
- Vérification des attestations et des autorisations de surveillance de la construction.
- Coupe et découpe des ouvertures pour l'emplacement des valves (valves d'entrée et de sortie, ainsi que de trop-plein), ainsi que l'application de diverses spécifications et marquages (indications sur l'installation) moyennant des markers/cutters électroniques sur la base de la spécification de la confection.
- Contrôle du respect des tolérances de mesure nécessaire des éléments de membrane et des ouvertures, ainsi que le contrôle des divers spécifications et marquages.
- Soudure des diverses bandes de membrane ETFE pour constituer une couche de membrane.
- Contrôle du respect des couches de membrane nécessaires.
- Vérification de la résistance des cordons de soudure conformément au plan de vérification spécifique au projet.
- Soudure des différentes couches de membrane ETFE pour former un coussin pneumatique ETFE (cordons de soudure des poches de rive avec leur bourrelet intégré).
- Contrôle du respect des tolérances de mesure nécessaires des coussins.
- Contrôle du cordon de soudure de rive filant, quant à sa continuité, en particulier dans les angles.
- Vérification des résistances des cordons de soudure conformément au plan de vérification spécifique au projet.
- Montage des accessoires des coussins, en particulier des valves.
- Contrôle externe (surveillance externe) de ***seele*** cover GmbH par un institut de certification, de surveillance et de vérification pour membrane indépendante et accréditée par le DIBt; contrôle externe (surveillance externe) de ***seele*** covertex membranes Shanghai par un institut de surveillance.

Stockage, transport des éléments de la construction de l'ouvrage secondaire (coussins à membrane ETFE) au chantier, y compris contrôles

- Stockage à l'abri de l'humidité, protégé contre vol, et adéquat quant au produit et à son emploi, des coussins à membrane ETFE prêts à être montés jusqu'au moment de leur expédition.
- Etablissement des papiers de douanes et de transport, application du marquage d'identification, le cas échéant de celui CE, sur le bordereau de livraison.
- Emballage conforme au produit des coussins à membrane ETFE dans des caissons de transports solides conformément au plan d'emballage et de réception; ajout de produit de dessiccation pour les transports plus longs ou dans le cas de stockage prolongé sur le chantier.
- Contrôle des documents de transport, ainsi que de l'emballage approprié au produit et à son emploi.
- Transport au chantier.
- Vérification des documents de transport, en particulier du bordereau de livraison et du marquage d'identification, le cas échéant de celui CE; contrôle que l'emballage n'a pas été ouvert.
- Dépose des caissons de transport au lieu indiqué sur le chantier; l'entreposage à un autre endroit seulement en cas de nécessité et après concertation avec la direction du chantier sur place.

4. Surveillance et contrôle

L'assurance qualité des coussins à membrane ETFE ***seele*** suit en ce qui concerne les études, le management projet, l'approvisionnement des marchandises, la fabrication, le transport, l'exécution et la maintenance (inspection, entretien, remise en état et nettoyage) les documents spécifiques au projet suivants :

- Plan d'assurance qualité (QS-Plan) avec indications concernant les contrôles qualité, la traçabilité du produit tout du long du flux des marchandises, les mesures en cas de défauts etc. ainsi que d'autres documents du management qualité QM, avec indications sur la fabrication des coussins à membrane ETFE et sur la surveillance interne et externe.
- Mode d'emploi (Opération & Maintenance (O&M) Manual, y compris plan de maintenance et mode de nettoyage spécifique au projet).
- Modèle contrat de maintenance et de check-list maintenance.
- Concept de montage et installation de chantier.
- Concept de sécurité sur le chantier (Health & Safety (H&S) Concept.
- L'assurance qualité ***seele*** permet une traçabilité de la prestation globale réalisée jusqu'aux produits de construction et matériaux mis en œuvre. Les différents contrôles durant la fabrication sont indiqués dans le chapitre 3. Les membranes ETFE employées et les cordons de soudure correspondent aux exigences minimales indiquées dans le tableau 7.

5. Mise en œuvre

Montage des coussins à membrane ETFE

Equipe de montage

La pose est effectuée sous la responsabilité de la société ***seele***. Le montage est réalisé exclusivement par du personnel formé, qualifié pour ces travaux.

Pour chaque projet, un chef de projet de la société ***seele*** dirige les travaux. C'est lui qui forme, qui gère le personnel pour le montage et qui assure la coordination des personnes.

Sécurité durant le montage

L'exécution du montage se fait suivant le planning de montage spécifique au projet.

Il y a au minimum une instruction sur la sécurité par le coordinateur sécurité et santé, ainsi que d'autres instructions par le chef de chantier sur place.

Chaque monteur est équipé d'un équipement de protection et antichute personnel dans la mesure où son activité l'exige.

Les surfaces de travail sont composées exclusivement de plateformes, d'échafaudages, de filets et de sécurité antichute selon 1263-1 et EN 1263-2. Ces plateformes et filets sont fixés sur la structure primaire. Les intervalles et la constitution des points de fixation répondent aux autorisations spécifiques et suivent les consignes de sécurité au travail en vigueur.

Pour des endroits difficilement accessibles au moment du montage, l'intervention se fait avec des équipements pour alpinisme autorisés et testés suivant EN 795.

La chute d'objets est empêchée par des filets de sécurité suivant EN 1263-1 et EN 1263-2.

L'accès aux coussins à membrane ETFE de ***seele*** n'est autorisé qu'au personnel de montage formé et sous conditions. Les coussins ont été maintes fois vérifiés dans le cadre d'autorisation pour la construction en France (ATEx) quant à leur résistance au choc suivant EN 13830. Les essais de choc vertical M50/1200 Joules ont démontré qu'un coussin à 2 couches (d = 200 µm) résistent à la chute du corps d'épreuve, et ce que le coussin ETFE était gonflé ou vide.

Montage de l'alimentation en air

Les stations d'alimentation d'air sont montées dans des locaux techniques étanches à l'air et à l'eau et insonorisées à l'extérieur du bâtiment.

Les stations d'alimentation d'air sont raccordées au réseau électrique par le client.

Le réseau d'air consiste en une série de tubes rigides avec des éléments flexibles pour la dilatation. Le réseau d'air est fixé sur la structure primaire du bâtiment. Les raccords de tubes en PVC-U et de tubes flexibles sont réalisés à l'aide de colliers de serrage.

Avant le raccordement du réseau d'air au coussin, une vérification de l'alimentation en air et des sorties d'air aux extrémités du système ouvert est réalisée.

Installation des profilés de base

Ossature secondaire

Profilés en alliage d'aluminium extrudés montants et traverses assemblés sur chantier et comportant des gorges de récupération des eaux d'infiltration éventuelles.

A chaque assemblage

Les profilés SC-01 et SC-02 sont extrudés avec trous oblongs (ø11 mm x 24 mm) en sous face pour permettre la fixation à la charpente. Le profilé SC-01 est fixé à la charpente métallique par l'intermédiaire de boulons M10 avec une vis avec une tête six pans, un écrou six pans et un écrou six pans avec verrouillage. Le profilé SC-02 est fixé à la charpente par l'intermédiaire d'une vis tête fraisée, d'une rondelle et d'un écrou six pans avec verrouillage.

Le profilé SC-11 est extrudé avec une rainure en sous face pour permettre la fixation à la charpente avec des boulons à tête marteau.

Entraxe des vis de fixation (ou appuis):

- SC-01:
  - courant :e_{max} = 1 000 mm
  - en rive, avant-toit, égout EP : e_{max} = 500 mm
- SC-02 et SC 11:
  - e_{max} = 500 mm (uni, car entrée de charge toujours unilatérale)

La répartition des fixations est calculée selon les charges imposées sur le profil. Chaque fixation est réalisée avec au minimum deux boulons.

Le cadre de chaque coussin est fait avec des profilés simples, références SC-02 ou SC-11, dans le cas où un seul coussin est tenu et avec des profilés doubles, référence SC-01, pour tenir un coussin de chaque côté.

Positionnement des chéneaux de condensation acier gainés en PVC (tôle de recouvrement de membrane FVB) sur les appuis d'acier (dans le cas d'un profil aluminium SC-01) (voir plans détaillés).

Fixation des FVB sur les appuis d'acier à l'aide de connexions vissées normées M10 qui sont passées par en bas à travers le percement des appuis, y compris positionnement des rondelles, application des produits d'étanchéité pour le filetage, ainsi que serrage des boulons.

Soudure à chaud du revêtement PVC sur tous les embouts des profils de la tôle de recouvrement moyennant une bande adhésive PVC et le pistolet à air chaud.

Scellement des embouts soudés à l'aide d'un produit d'étanchéité PVC précédemment décrit.

Montage des plots d'écartement EPDM (profil de serrage SC-01) sur les vis freinées avec des boulons.

Fixation des profils de base en aluminium (connexion de rive) sur les appuis ou – dans le cas où la tôle de recouvrement ne serait pas nécessaire – directement sur la structure primaire moyennant des vis en acier normées (voir plans de détails)

Le rail pour les keders est ébarbé et graissé avec un spray silicone pour une meilleure glissance de la poche du keder dans le canal.

Les joints d'étanchéité angulaires en EPDM sont coupés puis glissés dans les rainures.

Installation des coussins

Les coussins en film plastique sont déballés en fonction des instructions d'emballage et un contrôle visuel des cordons de soudure et des éléments montés, est réalisé.

Un glissoir, liner, en membrane PVC (largeur environ 1,0 m) est fixé pour protéger les coussins à membrane ETFE lors de leur positionnement. Les coussins sont ensuite préparés et positionnés pour leur installation.

Les poches des keders sont insérées dans le canal graissé du profilé, débutant par le grand côté. Le profil du keder est accroché dans le profilé de base débutant à la moitié du grand côté du champ ainsi que de manière analogue aux deux coins avoisinants. Des sangles de sécurité sont installées pour éviter un décollage lors de rafales de vent. Déploiement et étendage du coussin en partant du bord longitudinal déjà fixé.

Le coussin est tiré sur le glissoir (liner) en PVC. Les poches du keder sont insérées dans le canal du profilé préalablement graissé. Ce profilé est ensuite accroché dans le profilé de base débutant la les moitié du champ ainsi que de manière analogue aux deux coins avoisinants.

Le joint d'étanchéité du capot en EPDM est déployé et coupé. Les profilés chapeau sont fixés par vissage en fonction du plan de montage, avec un entraxe maximum de 250 mm.

Les joints de dilatation sont collés dans les joint de chapeau avec de la pate d'étanchéité pour joint.

Les valves d'entrée et de sortie d'air sont ensuite installées. Les colliers de fixation sont mis en place entre le tuyau FEP et le tuyau d'air en PVC-U et entre la valve d'entrée et le coussin d'air.

Une fois que le coussin est tendu par le profil sur tous ses côtés, il est parfaitement maintenu. Le coussin à membrane ETFE est raccordé au système d'alimentation en air à l'aide de tubes flexibles précédemment décrits DN 50 mm, les tuyaux de mesure de pression sont et la connexion avec l'armoire à commande est réalisée. Une surpression de montage de 100 Pascal est appliquée pendant au moins 24 heures pour vérifier le remplissage en air de toutes les chambres. Un contrôle de tous les éléments de construction est réalisé pour vérifier leur bonne liaison et le bon fonctionnement du coussin à membrane ETFE.

Ensuite la pression intérieure nominale, p_{nom}, du coussin est appliquée.

Pose des accessoires

Pose d'étanchéité

La continuité de l'étanchéité avec les autres corps d'états se fait par la mise en œuvre d'une bande de membrane pvc fixée mécaniquement entre capot serreur et profil aluminium. De l'autre côté cette bavette est soudée sur une tôle co-laminée. Une isolation thermique peut être insérée et les joints d'étanchéité en PVC sont soudés.

6. Thermique

Calcul du coefficient de transmission surfacique, U

Le coefficient de transmission surfacique de la verrière se calcule conformément aux règles Th-U, comme étant une moyenne pondérée des coefficients surfaciques et linéiques des éléments par les surfaces correspondantes.

Le coefficient de transmission surfacique d'un élément de verrière U_{cwi} se calcule d'après la formule ci-après :

$$U_{cwi} = \frac{\sum U A + \sum \psi \ell}{A_{cwi}}$$

où :

U = Coefficient surfacique des constituants : remplissage et profilé de verrière, en W/(m².K).

A = Surface correspondante en m².

Ψ = Coefficient linéique périphérique, en W/(m.K).

ℓ = Longueur du linéaire situé à l'interface entre le remplissage et le profil, en m.

A_{cwi} = Surface de la trame répétitive.

Autres informations techniques

Les coefficients de transmission thermique surfacique et linéique destinés au calcul du coefficient U moyen de la verrière selon les règles Th-U sont donnés ci-après :

Tableau 4 – coefficient de transmission pour les profilés

	U_f	b_f
SC-01	6.3(1)	125
SC-02 (demi-profil)	8,3	156
SC11 (demi-profil)	9,5	108

(1) : la valeur est obtenue en ajoutant au coefficient calculé par ***seele*** un terme ΔU pour tenir compte des vis de fixation du capot de serrage.

U_g : coefficient de transmission surfacique du remplissage en partie courante, en W/m².K),

B_f : longueur du remplissage dans le modèle numérique (demi-portée dans ce cas) en m.

Tableau 5 – coefficient de transmission pour les coussins (émissivité : 0,89)

Nombre de couches	U_g en W/(m².K) (2)	
	Paroi horizontale	Paroi verticale
Double parois	3,5	3,1
Triple parois	2,3	2,1
Quadruple parois	1,7	1,6

(2) : valeurs calculées conformément aux règles Th6U-fascicule 3/5 et à la norme EN 673, majorées de 0,3 W/(m².K) pour les parois horizontales et de 02 W/(m².K) pour les parois verticales.

Tableau 6 – coefficient de transmission ψg de pont thermique périphérique

Nombre de couches	ψ_g en W/(m².K) (2)	
	Paroi horizontale et verticale	
	Portée de 3,5 à 60 mètres	
Double parois	0,2	
Triple parois		
Quadruple parois		

Calcul du facteur solaire, S

Le facteur solaire d'un coussin gonflable pourra être calculé au cas par cas par le demandeur.

7. Sismique

Les activités sismiques ne représentent pas de risque majeur pour les coussins gonflable en ETFE compte tenu de leur faible poids (525 g/m² pour une épaisseur de 300 µm), de leur souplesse et du type de sollicitations de la membrane (traction uniquement).

La composition des coussins gonflables en ETFE permettent d'absorber et de diminuer les sollicitations sismiques de la structure primaire lors d'une activité sismique.

Remarque

Un calcul sismique de la structure primaire soutenant la verrière doit être réalisée indépendamment du système de coussins gonflables en ETFE.

8. Dimensionnement

Méthodologie de calcul de la résistance des coussins.

La méthode de calcul des coussins est similaire à celle utilisée par les autres types d'habillage d'enveloppe :

- Calcul des hypothèses des charges climatiques.
- Calcul de la résistance des coussins par rapport à ces hypothèses.
- La fourniture d'une descente de charges au charpentier sous la responsabilité de ***seele***.

Calcul des hypothèses de charges climatiques

Les hypothèses sont basées sur l'Eurocode.

Les hypothèses de charge sont soit définies par l'ingénieur statique (déjà déterminées) ou ***seele*** les détermine suivant les normes européennes, en particulier celle de NF EN 1990. Lorsque les hypothèses sont déterminées par ***seele***, il y a une concertation des hypothèses de charge avec l'ingénieur statique de la structure primaire.

Le standard est de tenir compte des hypothèses de charges suivantes et de les superposer:

- Poids propres (dans la mesure où il n'est pas négligeable)
- Précontrainte en raison de la pression intérieure du pneu ainsi qu'en cas de défaillance de l'alimentation en air
- Température
- Charges de vent
- Charges de neige
- Accumulations de neige et d'eau

Les coussins à membrane ETFE ***seele*** ont résisté à une pression de vent simulée (ELS) de + 1.200 Pa et à une succion de vent (ELS) de - 2.250 Pa. Le test a été effectué suivant EN 13830.

Les calculs sont faits avec les hypothèses sous combinaisons de charges normales et extrêmes.

La vérification de la résistance des coussins est faite avec les charges climatiques extrêmes.

Les différentes combinaisons de charges sont :

- le poids propre, la précontrainte et la pression de gonflage
- le poids propre, la précontrainte, la pression de gonflage et le vent
- le poids propre, la précontrainte, la pression de gonflage et la neige
- le poids propre, la précontrainte et la stagnation de l'eau
- le poids propre, la précontrainte, la pression de gonflage, la neige et le vent.

Analyse de la détermination de la forme et de la précontrainte

L'analyse de la détermination de la forme et de la précontrainte des coussins à membrane ETFE ***seele*** se font dans l'entreprise même (bureau technique) ou sous la responsabilité de celle-ci. Cette analyse a été menée moyennant FE-Software EASY, Release 9.0, TECHNET GmbH; Stuttgart, par emploi de la méthode force-densité, bases de l'analyse suivant l'état actuel de la technique par exemple European Design Guide for Tensile Surface Structures, Foster, B., Mollaert, M., TensiNet, 2004) ou des logiciels FE comparables

Justifications des calculs de capacité de charge, d'exploitation et de durabilité

Les justifications des calculs pour les coussins à membrane ETFE sont effectuées suivant le concept de dimensionnement ***seele***, Obing, 2007, vérifiées et validées par l'Institut de certification, de contrôle et de vérification Dr. Blum, Stuttgart/Allemagne, accréditée par le Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) pour membranes.

Les états limites de la capacité de charge et de l'exploitation des coussins à membrane ETFE ***seele*** ont été définis pour les cas de charges concernées. Ceux-ci sont contenus dans le document technique.

Les justifications des calculs pour les profils en aluminium et de leurs liaisons se font sur la base des normes unifiées européennes pour éléments en aluminium, éléments en acier et connexions vissées.

9. Réparation et entretien

9.1 Réparation

Une analyse de dommage est faite pour définir le type de réparation à faire.

Dans le cas d'un trou ou une coupure moins de 300 mm de longueur une réparation par rustine ETFE est possible. Au delà de cette taille, le coussin devrait être remplacé.

Avant de poser la rustine, il faut nettoyer la surface du coussin avec un solvant MEK. Toute boursoufflure doit être enlevée pour assurer une surface lisse avant de coller la rustine en ETFE autocollante.

Endommagements

Les petits endommagements de la membrane ETFE, tels des entailles d'une longueur ne dépassant pas 300 mm et des trous d'un diamètre ne dépassant pas 40 mm peuvent être réparés par une bande adhésive ETFE spécifique ***seele***.

De tels endroits endommagés sont vérifiés au moins une fois par an dans le cadre du plan de maintenance standard et réparés le cas échéant

Dans le cas d'endommagements plus importants, le coussin à membrane ETFE est remplacé

Méthodologie de remplacement d'un coussin

La méthodologie de remplacement d'un coussin est basée sur le principe de ne jamais laisser un trou entre le coussin en train d'être remplacé et le coussin de remplacement.

- Tout d'abord la zone en dessous du coussin endommagé est évacuée et signalée.
- Des cordes sont fixées sur les points d'accrochage et servent comme deuxième dispositif de protection pour la dépose et pose du coussin.
- L'accès aux points d'accrochage se fera par un échafaudage ou par des filets montés sur place.
- Ensuite le capot serreur est enlevé à chaque extrémité du coussin endommagé depuis des nacelles ou une tour d'échafaudage. Le coussin est clipsé dans le profil en aluminium et le capot serreur sert pour assurer la bonne évacuation d'eau uniquement.
- Le coussin endommagé est enlevé du profil à chaque extrémité. Ce coussin est toujours tenu en place par les profils latéraux.
- Le coussin neuf est ensuite fixé dans le profil à chaque extrémité.
- Au fur et à mesure les capots serreurs sont enlevés. Le coussin endommagé est enlevé également. Le coussin de remplacement est fixé directement derrière.
- Ce procédé continue jusqu'au bout du coussin. Le coussin endommagé est emballé avec des cordes et il est descendu au sol.
- Ensuite les capots serreurs sont reposés.
- Le coussin est gonflé. Le remplacement est complet

9.2 Entretien

Compte tenu des propriétés naturelles anti-adhérentes de la membrane ETFE *seele* les coussins n'ont pas besoin de nettoyage sur leur côté extérieur. Ainsi le remplacement à effectuer sur un coussin consiste uniquement en interventions dans le cas de dommage accidentel et donc nécessite une intervention par les équipes spécialisés de ***seele***. Toutefois, le coussin est résistant aux chutes d'un corps mou et donc ne pose aucun souci dans le cas d'une intervention non sanctionné.

A la livraison de chaque projet le dossier d'ouvrage exécuté comprend une notice d'emploi pour les coussins. Le nettoyage est fait avec de l'eau et les chiffons Microtex selon la notice jointe.

Dans le cadre d'un projet un contrat de maintenance annuel est préconisé. Cette maintenance, tous les 12 mois, est effectuée par des équipes de ***seele*** et il vérifie le bon fonctionnement des unités de gonflage y compris le remplacement des filtres d'air et une inspection visuelle de l'installation des coussins, la menuiserie et raccords.

Mode d'emploi (Operation & Maintenance (O&M) Manual, y compris plan de maintenance et mode de nettoyage spécifique au projet).

B. Résultats expérimentaux

- Essai de détermination de l'étanchéité á l'eau et de la résistance à la charge due au vent et essais de résistance du choc, projet «Centre aquatique et d'escalade - Migros Neydens», France, juillet 2008 – n°PV : 1611-TR_EVC_SE01.
- Essai de détermination de l'étanchéité á l'eau et de la résistance à la charge due au vent et essais de résistance du choc, projet «Pole de loisirs et de commerces - Lyon Confluences», France - N° PV : 3749_30004_TR_EVC_SE01.
- Rapport sur les tests de longue durée de la membrane ETFE d'une épaisseur de 200 µm de ASAHI dans le laboratoire Blum, projet 626-12, Laboratorium Dr. Blum, Stuttgart, 30.01.2006.
- Attestation de preuve pour le comportement au feu selon DIN 4102, Teil 1, P-BWU03-I-16.5.107, membrane ETFE: NOWOFLON ET 6235 Z, MPA Stuttgart – Otto-Graf-Institut, 19.05.2010.
- Essai de vérification de l'inflammabilité de l'ETFE – MFPA Leipzig GmbH – n° PV : PZ III / B – 04 – 071.
- PV de classement de réaction au feu – Laboratoire Central – N)PV : 414/04 - ETFE 100 µm = M2 (2004 – durée non limitée).
- Procès-verbal de Classement de Réaction au feu d'un Matériau: Film Éthylène Tétra-fluor-éthylène (ETFE), Préfecture de Police, Laboratoire Central, Paris, France.
- Etude thermique : validation des coefficients de transmission thermique d'un procédé de parois légères à base de coussins à membranes ETFE – n° rapport : DER/HTO 2012-294-FL/LS – n° affaire 11-099.
- Analyse de la méthode de dimensionnement des coussins à membranes ETFE : DER/CLC-11-198.

C. Références

C.1 Données environnementales et Sanitaires[1]

Le produit (ou procédé) Coussins à membrane ETFE ne fait pas l'objet d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

Les données issues des FDES ont pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les produits (ou procédés) visés sont susceptibles d'être intégrés.

C.2 Autres références

L'ensemble des références relatives au procédé Verrière en coussins gonflables ETFE représente à ce jour : 300 000 m², dont 27 000 m² en France, sous ATEx.

[1] Non examiné par le Groupe Spécialisé dans le cadre de cet Avis.

Annexe - Méthodologie de dimensionnement des coussins gonflables en ETFE

Chargements

Poids propre :

Densité ETFE : γ_{ETFE} = 1,75 *g/cm3.*

Poids de surface membrane ETFE : $g_{ETFE-Folie\ 250\mu m}$ = 450 *g/ m².*

Poids de surface ETFE-Coussin : $g_{dreilagiges\ ETFE-Coussin} \leq$ 0,02 *kN /m².*

En règle générale, le poids propre de la membrane ETFE est négligeable.

Pression intérieure coussin :

Pression intérieure nominale : P_{nom} = 300 *Pa.*

Pression normale maximale de la soufflerie : P_{max} =1,0 x *s* ≤ 800 *Pa.*

Remarque : la pression est augmentée qu'en cas de charge de neige : $T_{Folie\text{-}max}$ = +23°*C.*

Pression intérieure coussin en cas de charge de vent W : $P_{i,W.}$

Pression intérieure en cas de charge de neige S: $P_{i,S.}$

- lorsque $P_{max} \geq \gamma_{L,s}$; $P_{i,S} = P_{max}$,
- lorsque $P_{max} < \gamma_{L,s}$; $P_{i,S} = p_{atmos}$ (longue durée).

Charges de vent

- Succion de vent zone normale (wind suction) : $W_{S.}$
- Succion en bordure/succion aux angles (wind suction at edges) : $W_{S,E1}$, $W_{S,E2.}$
- Pression du vent (wind pressure) : $W_{P.}$

Charges de neige

Charge de neige : S.

Situation de dimensionnement exceptionnelle en cas de dysfonctionnement (par exemple absence d'alimentation d'air).

- Charge poche à eau : $W_{a.}$
- Charge poche à neige : $S_{a.}$

Coefficients de pondération

Coefficient de sécurité pour le calcul des déformations

En état limite de capacité d'utilisation (ELS) : $\gamma_{L,SLS}$ =1,0.

En état limite de la capacité de charge (ELU) :

$\gamma_{L,ULS,1}$ = 1,50 charges extérieures individuelles, exemple : vent, neige.

$\gamma_{L,ULS,2}$ = 1,35 superposition de charges extérieures, exemple : vent ⊕ neige; (⊕ = superposition).

$\gamma_{L,ULS,3}$ = 1,10 pression intérieure du coussin et pression maximale en cas d'alimentation d'air réglée électroniquement.

$\gamma_{L,ULS,4}$ = 1,00 situation de dimensionnement exceptionnelle (S_a, W_a).

Coefficient de sécurité pour le calcul de la résistance

En état limite de capacité d'utilisation (ELS) : $\gamma_{M,SLS}$ = 1,0.

En état limite de la capacité de charge (ELU) : $\gamma_{M,ULS}$ = 1,1 .

Valeur design de la résistance

Dans les états limites de la capacité d'utilisation (ELS)

Déformation admissible par la membrane ETFE déterminée sur la base des déformations maximales (flèche) dans le sens z vers le centre de la zone :

$$R_{d,SLS} = u_z \leq \min u_z$$

Cette déformation admissible est calculée afin de vérifier la non-collision de la membrane avec des éléments constructifs (à angle coupant, rigides, …).

Tension admissible par les membranes ETFE déterminée sur la base de la limite d'effort mono-axiale avec la valeur fractile de 5% (index 0.05) de l'effort de tension (index y selon norme) de la Membrane à une température T = 23°C, diminuée du produit des facteurs de réduction dépendant du cas de charge sur l'effort de tension $\sum d_{fzyk} = (d_0 \times d_1 \times d_2 \times d_3) \times f_{zyk}$

$$R_{d,SLS} = \frac{f_{zyk,mean-1,64\cdot s}}{\gamma_{M,SLS} \times \sum d_{fzyk}}$$

Dans les états limites de la capacité de charge (ELU)

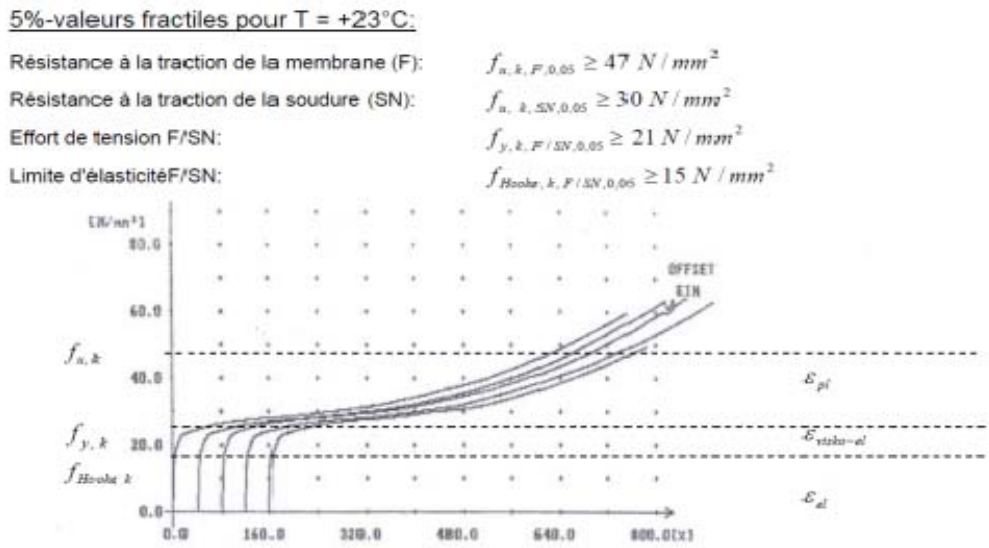
Tension admissible par les membranes ETFE déterminée sur la base de la valeur fractile de 5 % (index 0.05) de la résistance à la traction mono-axiale (index u selon norme) de la soudure (SN) à une température T = 23°C, diminuée de la valeur de correction de sécurité de l'élément propre au matériau $\gamma_{M,ULS}$ ainsi que du produits des facteurs de réduction dépendant du cas de charge $\sum d_{fy,k} = (d_0 \times d_1 \times d_2 \times d_3) \times f_{y,k}$ concernant la résistance à la traction :

$$R_{d,u,SN} = \frac{f_{y,k,SN,mono(0.05)+23°C}}{\gamma_{M,ULS} \times \sum d_{fy,k}}$$

Valeurs caractéristiques de la résistance

Hypothèses empiriques pour les valeurs caractéristiques de l'effort de tension $f_{y,k}$ et de la résistance à la traction de la soudure (SN) $f_{u,k,SN}$ (Remarque : l'effort de tension est identique pour les échantillons de membrane avec ou sans soudure).

Comportement de tension-extension des membranes ETFE lors du test mono-axial de courte durée



Dans l'état limite de la capacité d'utilisation (ELS)

T = +23°C $R_{k,u,SN} = f_{y,k,0.05,mono,+23°C} \geq 21\ N/mm^2$

T = +3°C $R_{k,u,SN} = f_{y,k,0.05,mono,+3°C} \geq 25\ N/mm^2$

Dans l'état limite de la capacité de charge (ELU)

T = +23°C $R_{k,u,SN} = f_{y,k,SN,0.05,mono,+23°C} \geq 30\ N/mm^2$

T = +3°C $R_{k,u,SN} = f_{y,k,0.05,mono,+3°C} \geq 33\ N/mm^2$

Facteurs de réduction dans l'état limite de la capacité d'utilisation (ELS) et dans l'état limite de la capacité de charge (ELU)

Facteurs de réduction - legende

Facteurs de réduction (A-factors)	A_0 [-]	$A_{1\,(STL)}$ / $A_{1\,(LTL)}$ / $A_{1\,(PL)}$ [-]	A_2 [-]	$A_{3\,(3°/23°C)}$ [-]	$A_{3\,(40°C)}$ [-]	A_4 [-]
dans l'état limite de la capacité d'utilisation (SLS) $f_{y,k}$	1,4	1,0 / 1,3 / 1,8	1,0	1,0	1,2	1,0
dans l'état limite de la capacité de charge (ULS) $f_{u,k}$	1,2		1,1			

A_O	effort biaxial et preuve de matériau monoaxiale	multiaxial (biaxial) stress distribution on site and uni-axial testing of characteristic value
A_1	Effort de durée	long term and permanent loading
A_2	Conditions environnementales (par ex. rayons UV)	environmental exposure (e.g. UV-radiation)
A_3	Influences des températures (températures élevées)	high temperature exposure
A_4	Imprécisions de fabrication (en retenant des valeurs fractiles de 5% on retient des facteurs de réduction à un 1,0)	inaccuracy in production (not applicable if 5%-fractile-values are taken)

STL	charges à courte durée	short term load
LTL	charges à longue durée	long term load
PL	charges permanentes	permanent load

A_0 : effort bi-axial et preuve de matériau mono-axiale

SLS (ELS) - réduction de l'effort de tension mono-axial sous effort bi-axial (dans l'état de tension plan multiaxial) :

$A_{0,fy,k,SN}$ = 21/15 = 1,4.

ULS (ELU) - réduction de la résistance à la traction mono-axiale de la soudure (SN) sous effort bi-axial dans l'état de tension plan multiaxial) :

$A_{0,fu,k,SN}$ = 30/25 = 1,2.

A_1 : Effort de durée

SLS (ELS)/ULS (ELU) - réduction de la résistance mono-axiale de la soudure (SN) ou de l'effort de tension mono-axial en cas de charges de longue durée (LTL) et de charges permanentes (PL) afin d'éviter des déformations excessives en raison du fluage (nota : pas de réduction pour les charges à courte durée (STL)) :

Charges à courte durée (STL) :

$A_{2,fy,k,STL}$ = 1,0.

$A_{2,fu,k,STL}$ = 1,0.

Charges à longue durée (LTL) :

$A_{2,fy,k,LTL}$ = 1,3.

$A_{2,fu,k,LTL}$ = 1,3.

Charges permanentes (PL) :

$A_{2,fy,k,PL}$ = 1,3.

$A_{2,fu,k,PL}$ = 1,3.

A_2 : Conditions environnementales

SLS (ELS) / ULS (ELU) - réduction de la résistance à la traction mono-axiale de la soudure (SN) ou de l'effort de tension mono-axial pour tenir compte de pertes de solidité dues au vieillissement en raison de rayons UV, de l'humidité, etc. La membrane est inerte par rapport au climat d'Europe centrale et aux conditions environnementales habituelles.

ELS: $A_{2,\,fy,k}$ = 1,0.

ELU: $A_{2,\,fu,k}$ = 1,1.

A_3 : Influences des températures (températures élevées)

SLS (ELS)/ULS (ELU) - l'effort de tension et la résistance à la traction de la soudure (SN) de la membrane viscoélastique ETFE augmentent avec la baisse de la température et diminuent avec l'augmentation de celle-ci. Les températures dépendent du lieu (Europe centrale = zone climatique tempérée). On part de l'hypothèse des températures maximales (défavorables) suivantes :

Influence	Bâtiment	Couche de membrane soumise à l'effort	Max. T°C
Ws Succion vent	Tous types de bâtiments (refroidissement vent)	OL	${}_{max}T_{OL}$ = +23°C
Wp Charge de vent	Tous types de bâtiments (cumul de chaleur)	IL	${}_{max}T_{OL}$ = +40°C
S : neige S + Wp : neige + charge de vent	Cas a : bâtiment ouverts, membranes séparées malgré la charge de neige (pi ≥ γ x S)	IL	${}_{max}T_{OL}$ = +3°C
	Cas b : bâtiment fermés (et chauffés), membranes se trouvant l'une sur l'autre (pi ≤ γ x S)	OL + IL	${}_{max}T_{OL+IL}$ = +3°C
	Cas c : bâtiment fermés (et chauffés), membranes séparées malgré la charge de neige (pi ≥ γ x S)	IL	${}_{max}T_{OL}$ = +3°C
$P_{i,max}$ Pression maximale dans le coussin	Tous bâtiments à supposer que la pression maximale n'est augmentée qu'en hiver (jusqu'à ${}_{max}T_{OL,IL}$ = +23°C éventuellement connexion à un thermomètre intérieur)	OL, IL	${}_{max}T_{OL+IL}$ = +23°C
$P_{i,nom}$ Pression nominale dans le coussin	Tous bâtiments	OL, IL	${}_{max}T_{OL+IL}$ = +40°C
W_a Poche d'eau	Incident, par exemple absence d'alimentation d'air	OL + IL	${}_{max}T_{OL+IL}$ = +23°C
S_a Poche de neige	Incident, par exemple absence d'alimentation d'air	OL + IL	${}_{max}T_{OL+IL}$ = +3°C

${}_{max}T_{OL}$: température maximale de la couche supérieure (OL).

${}_{max}T_{IL}$: température maximale de la couche intérieure (IL).

${}_{max}T_{OL+IL}$:= température maximale de la couche supérieure (OL) en contact avec couche intérieure (IL).

Explications

La solidité (résistance à la traction et effort de tension) de la membrane ETFE dépend de la température.

Remarques: Le facteur A_3 tient compte des températures. Les températures élevées (+40°C) sont prises diminuent la solidité des membranes EFTE. Les températures réduites (+3°C) augmentent la solidité des membranes ETFE.

Température des membranes en cas de charges de vent

Du fait de sa faible épaisseur et de son absorption de chaleur, la membrane est aussitôt refroidie par le vent. Pour le dimensionnement de la membrane soumise aux effets du vent (effet de succion), en règle générale, il s'agit de la couche supérieure, la température est prise égale à ${}_{max}T_{OL}$ = +23°C :

ELS: $A_{3,\ fy,k,T\text{-}OL=+23°C}$ =1,0.

ELU: $A_{3,\ fu,k,T\text{-}OL=+23°C}$ =1,0.

En ce qui concerne le dimensionnement sur le côté non exposé au vent, en règle générale, il s'agit de la couche intérieure, on suppose une température maximale de ${}_{max}T_{IL}$ = +40°C :

$$ELS: A_{3,f_{y,k,T=+23°C}/f_{y,k,T=+40°C}} = \frac{f_{y,k,+23°C}}{f_{y,k,+40°C}} = \frac{15\ N/mm^2}{12{,}5\ N/mm^2} = 1{,}2$$

$$ELU: A_{3,f_{u,k,T=+23°C}/f_{u,k,+40°C}} = \frac{f_{u,k,+23°C}}{f_{u,k,+40°C}} = \frac{30\ N/mm^2}{25\ N/mm^2} = 1{,}2$$

Températures des membranes en cas de charges de neige

En ce qui concerne le dimensionnement des membranes sous charge de neige, on suppose une température maximale de la couche intérieure sous effort (IL) de ${}_{max}T_{IL}$ = +23° :

ELS: $A_{3,\ fy,k,T\text{-}IL=+23°C}$ =1,0.

ELU: $A_{3,\ fu,k,T\text{-}IL=+23°C}$ =1,0.

Lorsqu'il s'agit d'un bâtiment non chauffé ou si les couches de membranes, dans le cas d'un bâtiment chauffé, sont en contact direct avec la neige, on suppose une température de dimensionnement maximale de $_{max}T_{IL,OL+IL}$ = +3°*C*.

Les valeurs de résistance limites dépendant de la température, de l'effort de tension et de la résistance à la traction de la soudure SN augmentent en fonction de la température, ce dont on tient compte par une augmentation des valeurs limites :

ELS : $R_{k,weld,T=+3°C} = f_{y,k,0,05,T=+3°C} = 25\ N/mm^2$.

ELU : $R_{k,weld,T=+3°C} = f_{u,k,0,05,T=+3°C} = 33\ N/mm^2$.

Températures des membranes avec pression maximale

En ce qui concerne le dimensionnement des membranes sous les effets résultant de la pression maximale, P_{max}, on suppose un température maximale de $_{max}T_{OL,IL}$ = +23°C, (en cas de charges de neige) :

ELS : $A_{3,\ fy,k,T-OL,IL=+23°C}$ =1,0.

ELU : $A_{3,\ fu,k,T-OL,IL=+23°C}$ =1,0.

A_4 **Imprécisions de fabrication**

En retenant des valeurs fractiles de 5% on retient des facteurs de réduction :

ELS : $A_{4,\ fy,k,0,05}$ = 1,0.

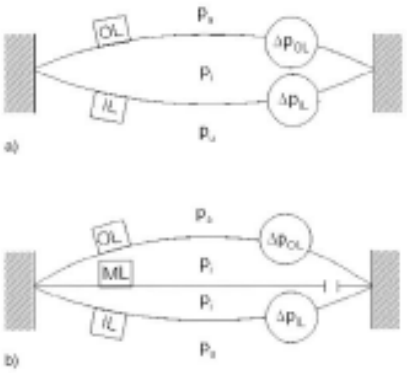
ELU : $A_{4,\ fu,k,0,05}$ = 1,0.

Dépendance de la température du module E (module de sécante à la limite d'élasticité)

On utilise comme modules E les valeurs constantes suivantes :

- pour le calcul de la tension : E = 900 N/mm².
- pour le calcul des déformations : E = 750 N/mm².

Cas de charge à l'état limite de service (ELS)



Cas de charge de courte durée (STL)

Cas 1 – ELS

1,0 x succion vent W_s ⊕ 1,0 x pression intérieure coussin $P_{i,W}$ en raison de la charge de vent ⊕ température $_{max}T_{OL}$ = +23°*C*.

Membrane sollicitée : OL.

La succion en bordure, $W_{S,E1}$, et la succion aux angles, $W_{S,E2}$, entreront dans le calcul si nécessaire.

Cas 2 – ELS

1,0 x pression vent W_p ⊕ 1,0 x pression intérieure coussin $P_{i,W}$ en raison de la charge de vent ⊕ température $_{max}T_{IL}$ = +40°.

Membrane sollicitée : IL.

Cas a: bâtiment fermé : $_{max}T_{IL}$ = +40°*C*.

Cas b: bâtiment ouvert : $_{max}T_{IL}$ = +23°*C*.

Cas 3 – ELS

1,0 x pression vent W_p ⊕ 1,0 x charge de neige S ⊕ 1,0 x pression intérieure coussin $P_{i,W}$ en raison de la charge de vent ⊕ température $_{max}T_{IL}$

Cas a : bâtiment chauffé avec couches de membranes ne reposant pas l'une sur l'autre (P_{max} ≥ S): $_{max}T_{OL,IL}$ = +23°*C*.

Membrane sollicitée: IL

Cas b : bâtiment non chauffé avec couches de membranes ne reposant pas l'une sur l'autre (P_{max} ≥ S): $_{max}T_{IL}$ = +3°*C*.

Membrane sollicitée: IL.

Cas c : bâtiment avec couches de membranes reposant l'une sur l'autre (P_{max} < S): $_{max}T_{IL}$ = +3°*C* ;

Membranes sollicitées: OL+IL.

Cas de charge de longue durée (LTL)

Cas 4 – ELS

1,0 x charge de neige S ⊕ 1,0 x pression intérieure coussin P_{max} ⊕ température $_{max}T_{OL,IL}$.

Vérification du déplacement sous charge de neige S_U et du glissement de neige S_R , ainsi que des charges de neige exceptionnelles S_a, si nécessaire.

Cas a: bâtiment chauffé avec membranes ne reposant pas l'une sur l'autre (P_{max} ≥ S): $_{max}T_{IL}$ = +23°*C*.

Membrane sollicitée : IL.

Cas b: bâtiment non chauffé avec couches de membranes ne reposant pas l'une sur l'autre (P_{max} ≥ S): $_{max}T_{IL}$ = +3°*C*.

*M*embrane sollicitée : IL.

Cas c : bâtiment avec couches de membranes reposant l'une sur l'autre (P_{max} < S): $_{max}T_{IL}$ = +3°*C*.

Membranes sollicitées: OL+IL.

Cas 5 – ELS

1,0 x pression maximale P_{max} ⊕ température*, $_{max}T_{OL,\ IL}$ = +23°*C*.

Membranes sollicitées OL et IL.

* Condition : pas d'augmentation de la pression intérieure du coussin à P_{max} avec températures T > +23° C (le cas échéant connexion de la pression maximale à la mesure de la température de l'air côté intérieur).

Cas de charge permanente (PL)

Cas 6 – ELS

1,0 x pression intérieure nominale P_{nom} ⊕ température; $_{max}T_{OL,IL}$ = +40°*C*.

Membranes sollicitées OL et IL.

Situations de dimensionnement exceptionnelles en cas d'incident (par exemple : absence d'alimentation d'air => $P_i = P_{atmos}$; preuves si requises; cas de charge de longue durée, LTL).

Cas 7 – ELS

1,0 x charge poche à neige W_a ⊕ température $_{max}T_{OL+\ IL}$ = +23°*C*.

Membranes sollicitées OL + IL (uniquement dans le cas de couches de membranes reposant l'une sur l'autre, autrement IL).

Cas 8 – ELS

1,0 x charge de poche de neige S_a ⊕ température $_{max}T_{OL+IL}$ = +3°*C*.

Membranes sollicitées OL + IL.

Cas de charge à l'état limite ultime (ELU)

Cas de charge de courte durée (STL).

Cas 1 - ELU

1,5 x succion vent W_s ⊕ 1,1 x pression intérieure coussin $P_{i,W}$ en raison de la charge de vent ⊕ température $_{max}T_{OL}$ = +23°*C*.

Membrane sollicitée : OL

La succion en bordure $W_{S,E1}$ et la succion aux angles $W_{S,E2}$ entreront dans le calcul si nécessaire.

Cas 2 - ELU

1,5 x pression vent W_P ⊕ 1,1 x pression intérieure coussin $P_{i,W}$ en raison de la charge de vent ⊕ température $_{max}T_{IL}$.

Membrane sollicitée : IL.

Cas a : bâtiment fermé: $_{max}T_{IL}$ = +40°.

Cas b : bâtiment ouvert: $_{max}T_{IL}$ = +23°.

Cas 3 - ELU

1,35 x pression vent W_P ⊕ 1,35 x charge de neige S ⊕ 1,1 x pression intérieure coussin $P_{i,W}$ en raison de la charge de vent ⊕ température $_{max}T_{IL}$.

Cas a : bâtiment chauffé avec membranes ne reposant pas l'une sur l'autre (P_{max} ≥ 1,35 x S): $_{max}T_{S,IL}$ = +23°*C*.

Membrane sollicitée: IL.

Cas b : bâtiment non chauffé avec couches de membranes ne reposant pas l'une sur l'autre (P_{max} ≥ 1,35 x S): $_{max}T_{S,IL}$ = +3°*C*.

Membrane sollicitée: IL.

Cas c : bâtiment avec couches de membranes reposant l'une sur l'autre (P_{max} < 1,35 x S): $_{max}T_{S,IL}$ = +3°*C*.

Membranes sollicitées : OL+IL.

Cas de charge de longue durée (LTL)

Cas 4 - ELU

1,5 x charge de neige S ⊕ 1,1 x pression intérieure coussin P_{max} ⊕ température maximale T_S.

Vérification du déplacement sous charge de neige S_U et du glissement de neige S_R, ainsi que de charges de neige exceptionnelles S_a, si nécessaire.

Cas a : bâtiment chauffé avec membranes ne reposant pas l'une sur l'autre (P_{max} ≥ 1,5 x S): $_{max}T_{IL}$= +23°*C*.

Membrane sollicitée: IL.

Cas b : bâtiment non chauffé avec couches de membranes ne reposant pas l'une sur l'autre (Pmax ≥ 1,5 x S): $_{max}T_{IL}$ = +3°*C*.

Membrane sollicitée: IL.

Cas c : bâtiment avec membranes reposant l'une sur l'autre (P_{max} <S): $_{max}T_{IL}$ = +3°*C* ;

Membranes sollicitées: OL+IL.

Cas 5 - ELU

1,0 x pression maximale P_{max} ⊕ température maximale* T_S*; $_{max}T_{OL,IL}$ = +23°*C*.

Membranes sollicitées OL et IL.

* Condition : pas d'augmentation de la pression intérieure coussin à P_{max} avec températures T> +23°C (le cas échéant connexion de la pression maximale à la mesure de la température de l'air).

Cas de charge permanents (PL)

Cas 6 - ELU

1,1 x pression intérieure nominale Pnom ⊕ température maxTOL,IL = +40°C.

Membranes sollicitées OL et IL.

Situations de dimensionnement exceptionnelles en cas d'incident

(Par exemple : absence de l'alimentation d'air => $P_i = P_{atmos}$; charges de longue durée, LTL).

Cas 7 - ELU

1,0 x charge de poche à eau Wa ⊕ température maxTOL+IL = +23°C.

Membranes sollicitées OL + IL (uniquement dans le cas où les membranes sont en contact, sinon uniquement IL).

1,0 x charge de poche à neige Sa ⊕ température maxTOL+IL = +3°C.

Membranes sollicitées OL + IL.

Tableaux et figures du Dossier Technique

Tableau 7 - Contrôle de fabrication

CONTROLE COUSSIN – FABRICATION ASSUREE PAR *seele cover GmbH*			
1.	CONTROLE DE LIVRAISON DU FILM	Tous les fabricants des films ont un suivi de contrôle de qualité interne. Chaque lot de film est livré avec un certificat de conformité aux propriétés mécaniques selon tableau § 2.1.	
		Vérification de certificat de conformité.	
		Vérification du film avec prélèvements et essais : • Epaisseur. • Essai de traction à 10% d'élongation. • Essai de traction à rupture.	 EN ISO 527-3 EN ISO 527-3
		Film enregistré en usine si conforme. Film renvoyé au fabricant si non-conforme.	
2.	CONTROLE DE FABRICATION D'UN COUSSIN	Une fiche de suivi accompagne chaque coussin pendant sa fabrication. Les contrôles suivants sont enregistrés pour chaque coussin : • Vérification de la soudure transversale de chaque couche. • Vérification de la soudure latérale de chaque couche. • Vérification de la conformité des dimensions avec le plan de fabrication. • Vérification de pose de valve de gonflage. • Vérification de la soudure de l'ensemble de toutes les couches. • Vérification de la conformité des dimensions finies de coussins avec le plan de fabrication.	
3.	PRELEVEMENT PENDANT FABRICATION	Des échantillons de coussin sont fabriqués en même temps que les coussins avec les mêmes machines et spécifications. Ces échantillons sont soumis aux essais suivants : • Essai de traction à 10% d'élongation. • Essai de traction à rupture. Production de coussin validée si conforme et archivage des résultats et des échantillons. Reprise des contrôles de la machine si non-conforme.	EN ISO 527-3 EN ISO 527-3
4.	VERIFICATION EXTERNE DES ECHANTILLONS	Un organisme externe effectue un audit de la fabrication et prélève des échantillons d'une façon aléatoire en fonction des projets réalisés pour faire des essais de recoupement.	
CONTROLE AUTRE COMPOSANTS (FABRICANT AVEC CERTIFICATION ISO9001)			
1.		Vérification de certificat de conformité livré avec chaque lot.	
CONTROLE AUTRE COMPOSANTS (FABRICANT SANS CERTIFICATION ISO9001)			
1.		Vérification de certificat de conformité livré avec chaque lot.	
2.		Prélèvement aléatoire par ***seele*** et essai interne en usine.	

1. Profilé capot aluminium,
   EN AW-6060 T66,
   anodisé E6 C-0 suivant DIN 17611
   avec percement d. = 7 mm,
   écarts 8 ≤ 150 mm.

2. Caoutchouc d'angle EPDM
   Shore A 60 (± 5)

4. Profilés en aluminium,
   EN AW-6060 T66, anodisé E6 00
   selon DIN 17611

5. Tôle de connexion,
   soudée aux jointures avec une
   membrane PVC renforcée par tissu

6. Point de système découpe

7. Etanchéité capot EPDM
   Shore A 60 (± 5)

8. Standard coussin
   avec trois couches
   de membrane ETFE

9. Vis capot, vis façade avec
   rondelle d'étanchéité 6.5 x 32-E16

10. Boulon six pans ISO 4017-M 10 x 40
    SW16 écart 8x ≤ 1000 mm

11. Rondelles ISO 7089-M10

12. Ecrou six pans
    ISO 4032-M10 SW16

13. Trou oblong, largeur = 11 mm,
    longueur = 24 mm

14. Ecrou six pans avec verouillag
    DIN 6923-M10 SW15

15. Bloc EPDM,
    Shore A 60 (± 5),
    26 x 14 x 70 mm
    avec percement d. = 18 mm

16. Bourrelet EPDM,
    Shore A 80 (± 5), d. = 6 mm

17. Bandes de tôle alu sur les
    jointures des profilés
    de base avec réduction
    de déport
    4 x 25 x 60 mm

18. Sous-construction acier

19. Produit d'étanchéité filetage
    Henkel Loctite 511

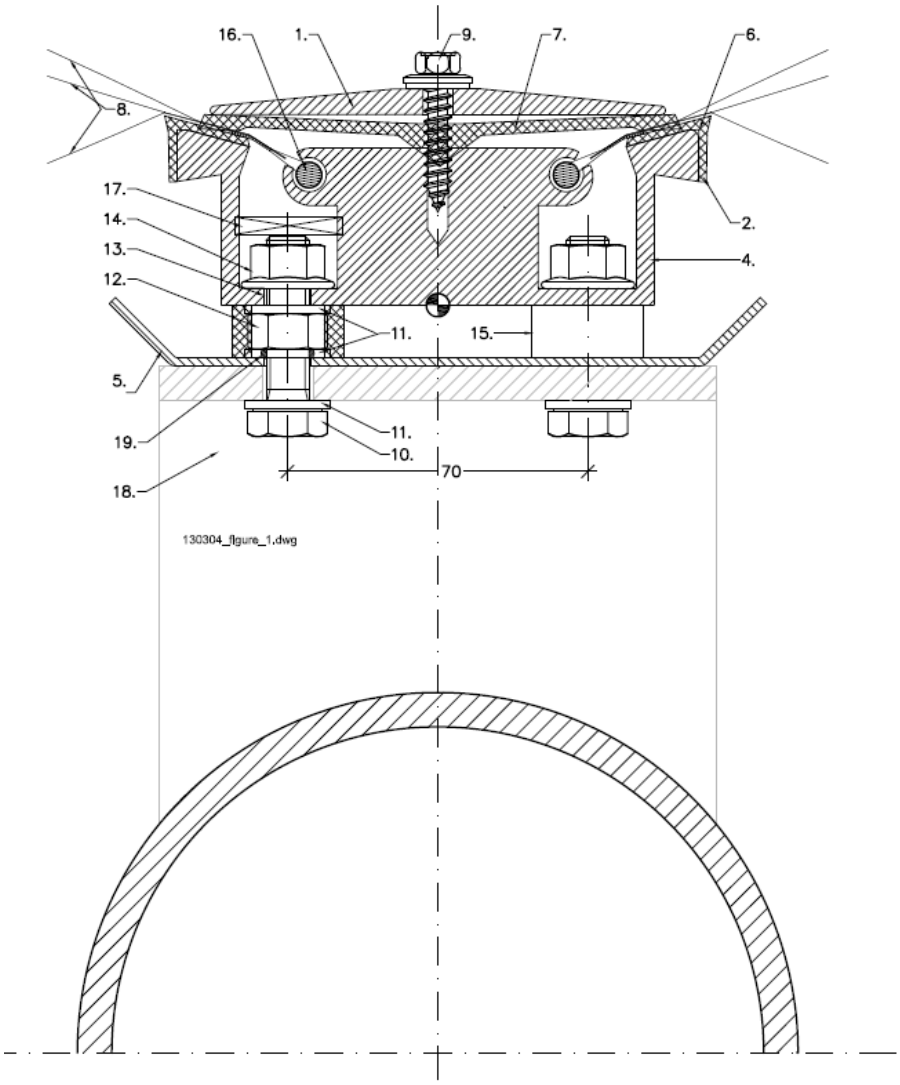


Figure 1 – Détail des éléments d'un profilé aluminium simple –SC-01

1. Profilés en aluminium,
   EN AW-6060 T66, anodiseé E6/C-0

2. Profile EPDM, continué, collé aux bords

4. Cussin ETFE avec une chambre d'air
   épaisseur film

5. verrouillage per vis
   ISO 7049 - ST4,8x9,5-C-H-A2

6. bourrelet EPDM Ø6mm, dureté shore
   80 ± 5

7. sous-construction en acier

8. Boulon hexagonal
   EN ISO 4017-M5x12-A2-50
   Disque
   EN ISO 7090-M5-A2-200HV

9. cordeau rond butylique Ø 4mm

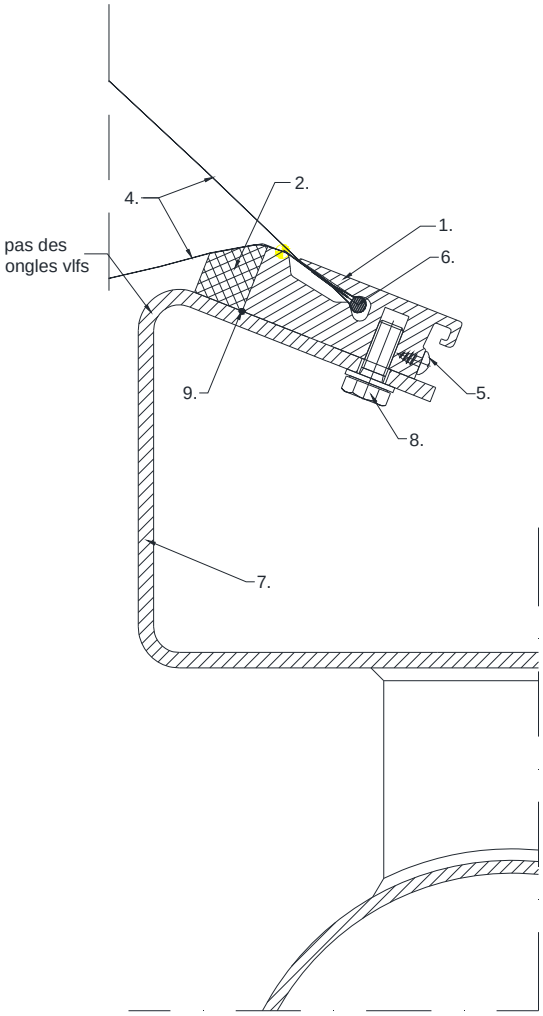


Figure 2 - Détail des éléments d'un profilé aluminium simple –SC-02

1. Profilés en aluminium,
   EN AW-6060 T66,
   anodiseé E6 C-0 s. DIN 17611

3. Profilé de capot aluminium,
   EN AW-6060 T66,
   anodiseé E6 C-0 suivant DIN 17611

4. Profilé en EPDM
   dureté shore 70 ± 5

5. Profilé en EPDM
   dureté shore 70 ± 5

6. Vis à tête plate avec hexagone intérieur
   et marquage M10x -A2 (longeur variable)

7. Rondelle ISO 7089 - M10 -A2

8. Ecrou six pans avec verroillage
   DIN EN ISO 7040 - M10 - A2

9. Verrouillage per vis
   DIN EN ISO 14585 - ST 4.8 x 13 - C - H - A2

10. Bourrelet EPDM
    Ø 6mm, Shore A80 ±5

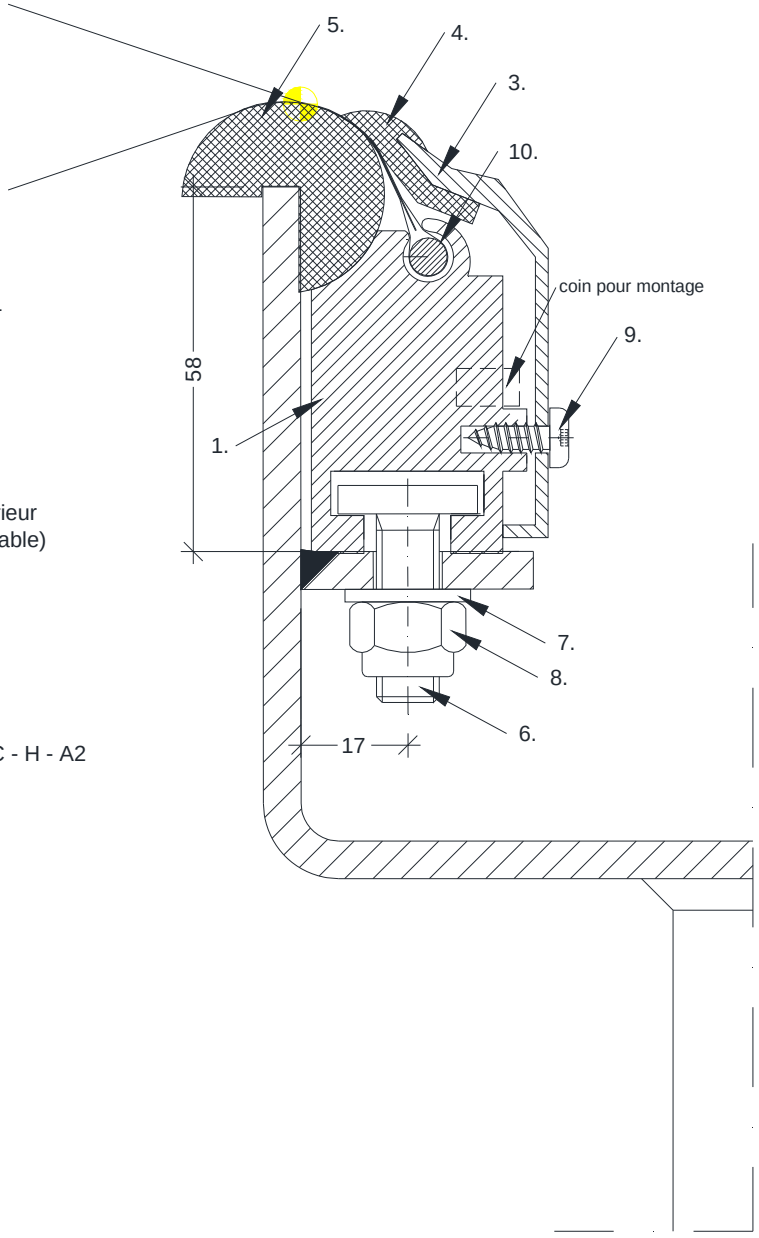


Figure 3 – Détail des éléments d'un profilé aluminium simple –SC-11

1. Joint EPDM haut simple profil côte bavette
2. Joint EPDM bas simple profil côte bavette
3. Protection contre les oiseaux
4. Vis étanche du capot serreur
5. Ourlet de rive dit "Keder" par example en EPDM
6. Film ETFE, par exemple une couissins avec trois couches
7. Valve de régulation en compartiment entre les coussins
8. Capot serreur en aluminium par example T6063
9. Étanchéité par example en PVC
10. Isolation thermique
11. Drainage de condensat
12. Profil SC-01 d'extrusion en aluminium par example T6063
13. Tube d'air principal
14. Coller de fixation pour tuyaux
15. Valve d'admission air
16. Tuyau flexible, diamètre ~50mm, par example en FEP ou en ETFE
17. Boulon à tête marteau raccord au profil de charpente
18. Étanchéité
19. Valve de purge air

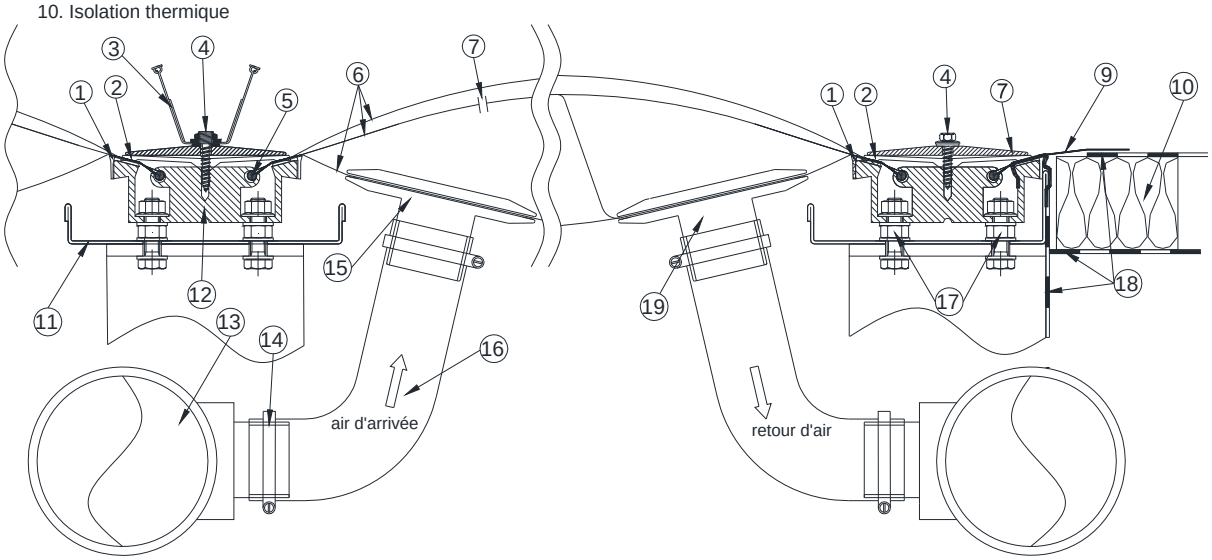
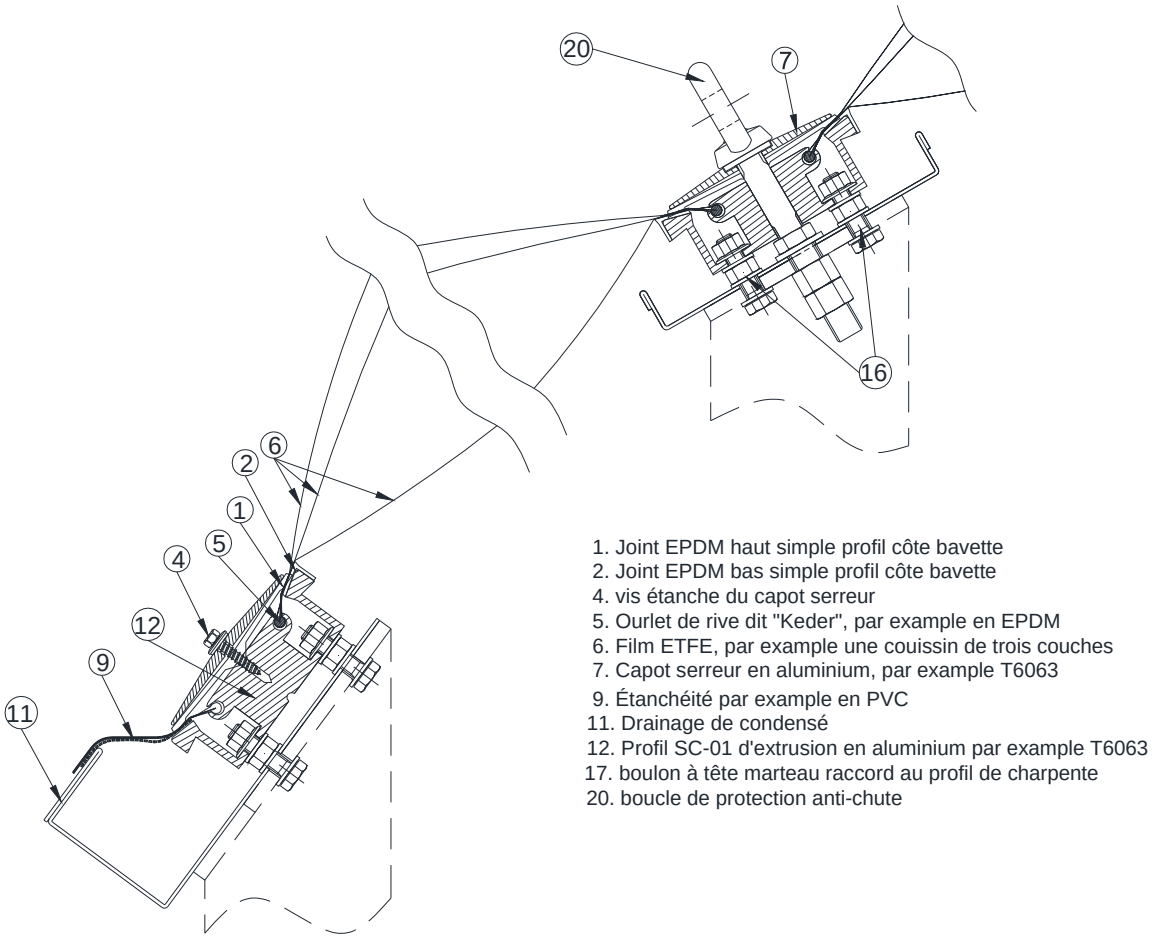


Figure 4 – Détail des éléments de coussins avec un profilé SC-01



1. Joint EPDM haut simple profil côte bavette
2. Joint EPDM bas simple profil côte bavette
4. vis étanche du capot serreur
5. Ourlet de rive dit "Keder", par example en EPDM
6. Film ETFE, par example une couissin de trois couches
7. Capot serreur en aluminium, par example T6063
9. Étanchéité par example en PVC
11. Drainage de condensé
12. Profil SC-01 d'extrusion en aluminium par example T6063
17. boulon à tête marteau raccord au profil de charpente
20. boucle de protection anti-chute

Figure 5 – Détail des éléments d'une verrière inclinée avec un profilé SC-01

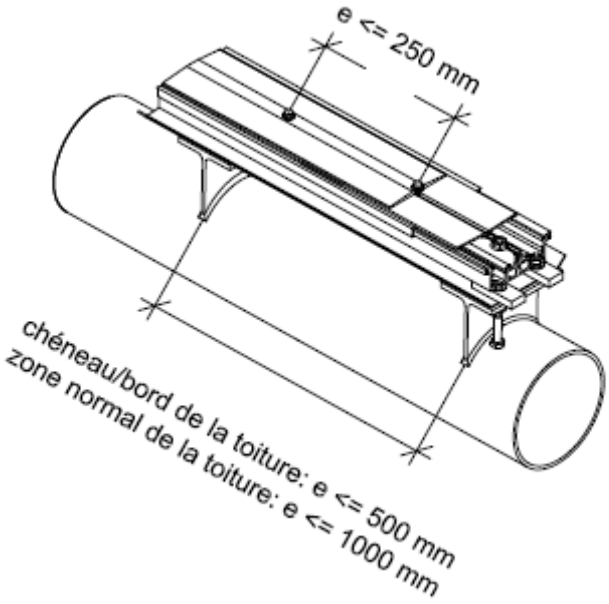


Figure 6 – Détail du principe de fixation des profilés SC-01 sur une charpente primaire

2. Joint EPDM bas simple profil côte bavette
5. Ourlet de rive dit "Keder", par example en EPDM
6. Film ETFE, par example une couissin de trois couches
13. Tube d'air principale
14. Collier de fixation pour tuyaux
15. Valve d'admission air
16. Tuyau flexible, diamètre ~50mm, par example en FEP ou en ETFE
17. Vis Tête hexagonal raccord au profil de charpente
22. Drainage d' eau de pluie en acier
25. Profil SC-02 d'extrusion en aluminium par example EN AW T6060 T66

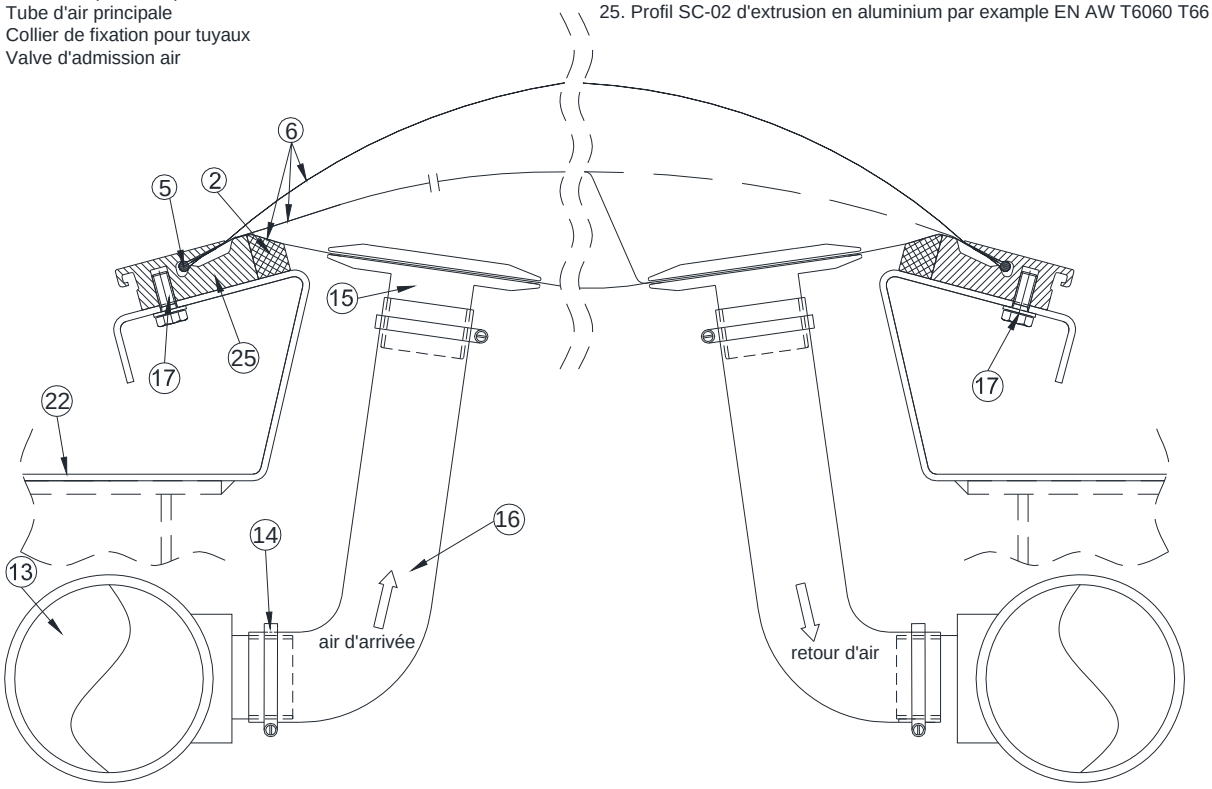


Figure 7 – Détail des éléments de coussins avec un profilé SC-02

2. Joint EPDM bas simple profil côte bavette
5. Ourlet de rive dit "Keder", par example en EPDM
6. Film ETFE, par example une couissin de trois couches
13. Tube d'air principale
14. Collier de fixation pour tuyaux
15. Valve d'admission air
16. Tuyau flexible, diamètre ~50mm, par example en FEP ou en ETFE
17. Vis Tête hexagonal raccord au profil de charpente
22. Drainage d' eau de pluie en acier
24. rivet
25. Profil SC-02 d'extrusion en aluminium par example EN AW 6060 T66

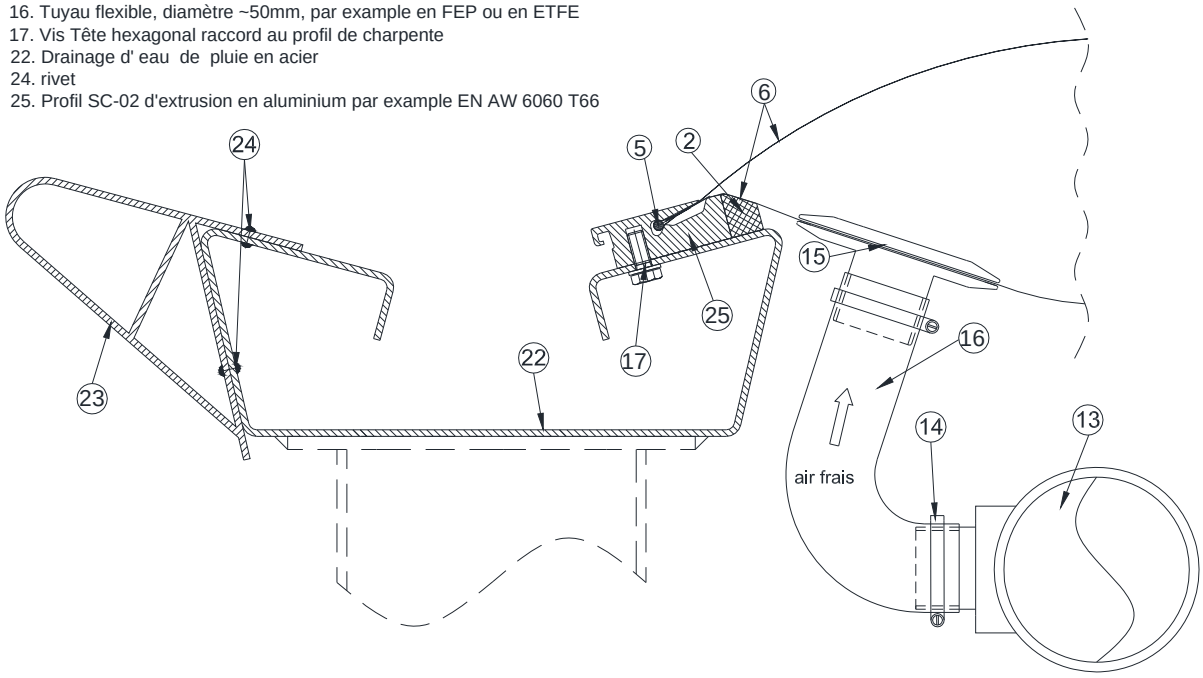


Figure 8 –détail de rive d'un cousin avec un chenaux avec un profilé SC-02

1. Joint EPDM haut simple profil côte bavette
2. Joint EPDM bas simple profil côte bavette
5. Ourlet de rive dit "Keder", par example en EPDM
6. Film ETFE, par exemple une couissin de trois couches
7. Capot serreur en aluminium, par example T6063
8. Valve de régulation en compartiment entre les coussins
13. Tube d'air principale
14. Collier de fixation pour tuyaux
15. Valve d'admission air
16. Tuyau flexible, diamètre ~50mm, par example en FEP ou en ETFE
17. Vis Tête hexagonal raccord au profil de charpente / Boulon à tête marteau raccord au profil de charpente
19. Valve de purge air
26. Profil SC-11 d'extrusion en aluminium
27. Vis du capot serreur

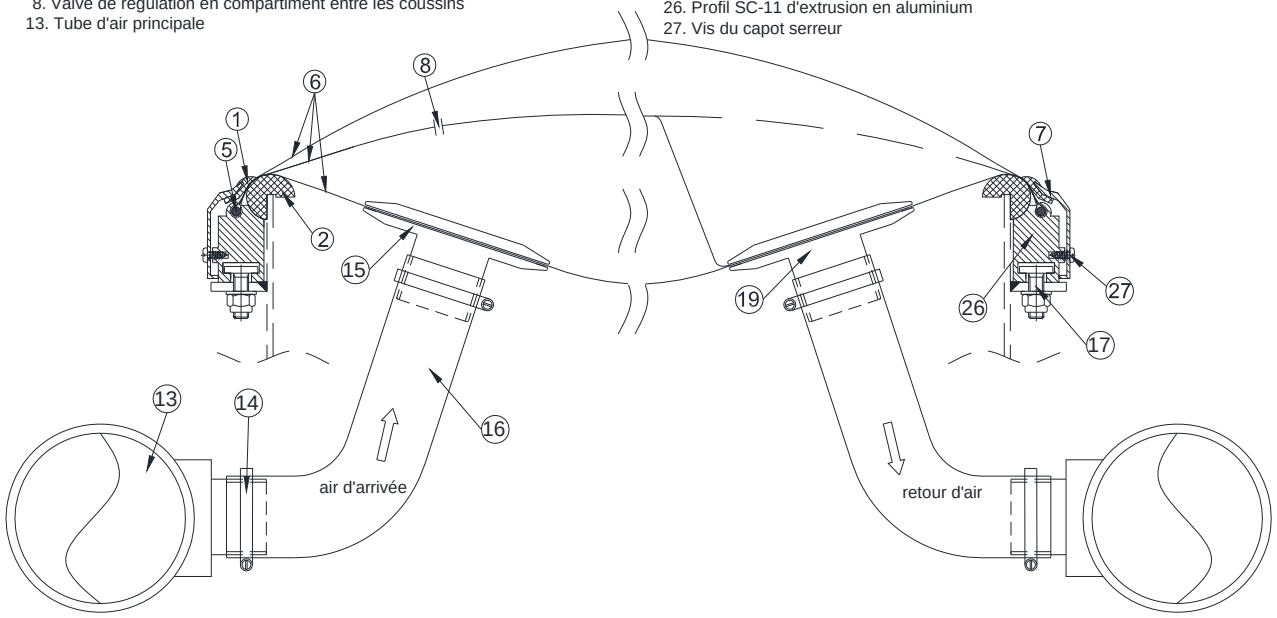


Figure 9 – Détail des éléments de coussins avec un profilé SC-11

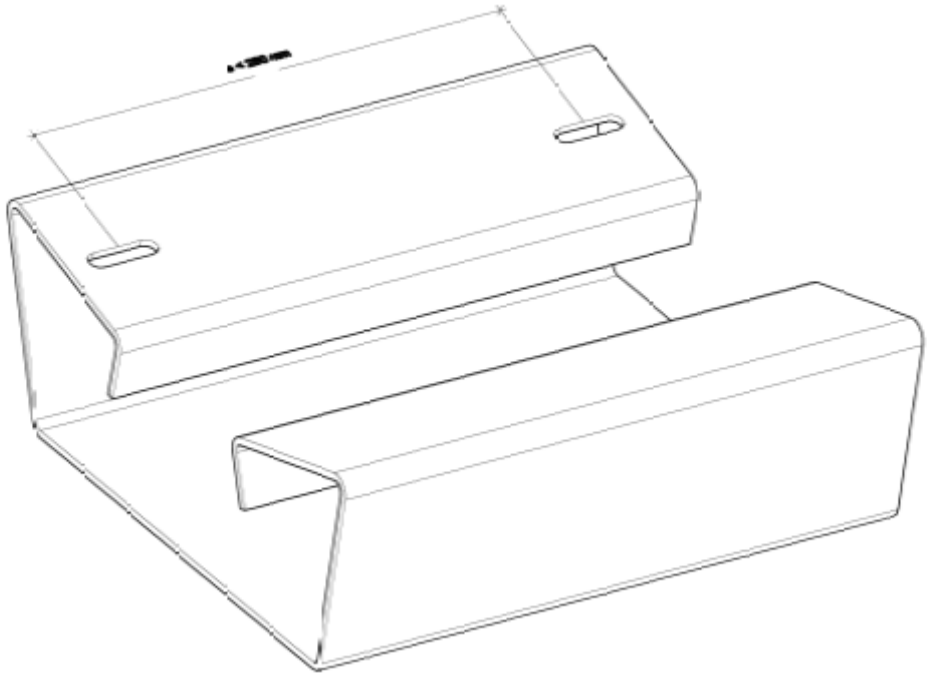


Figure 10 – Elément support des profilés de baseSC-01 et SC-02 – espacement entre vis

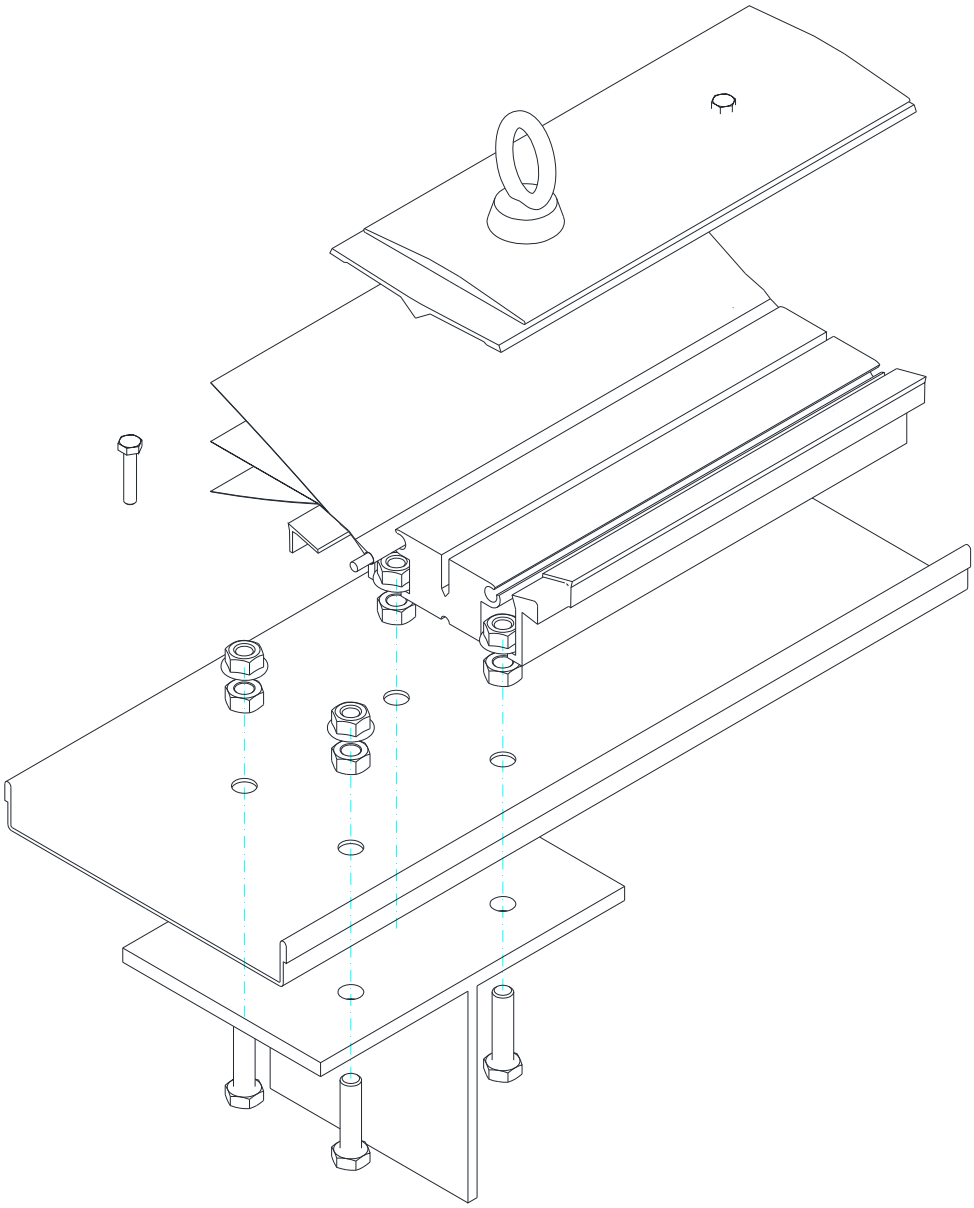


Figure 11 – Vue éclatée d'un système de fixation avec crochet anti-chute (profilé SC-01)

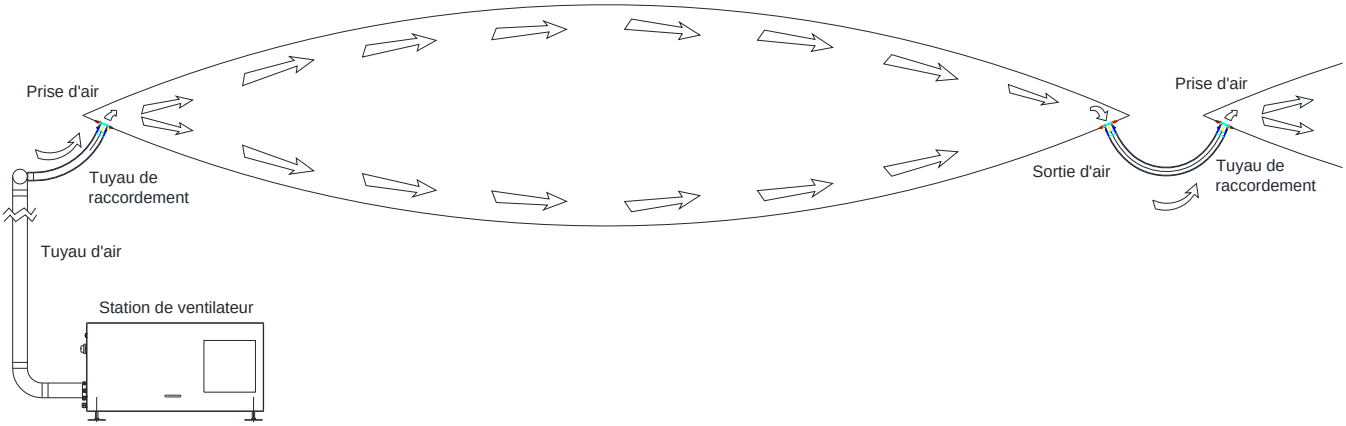


Figure 12 – Principe d'alimentation d'air des coussins ETFE en série

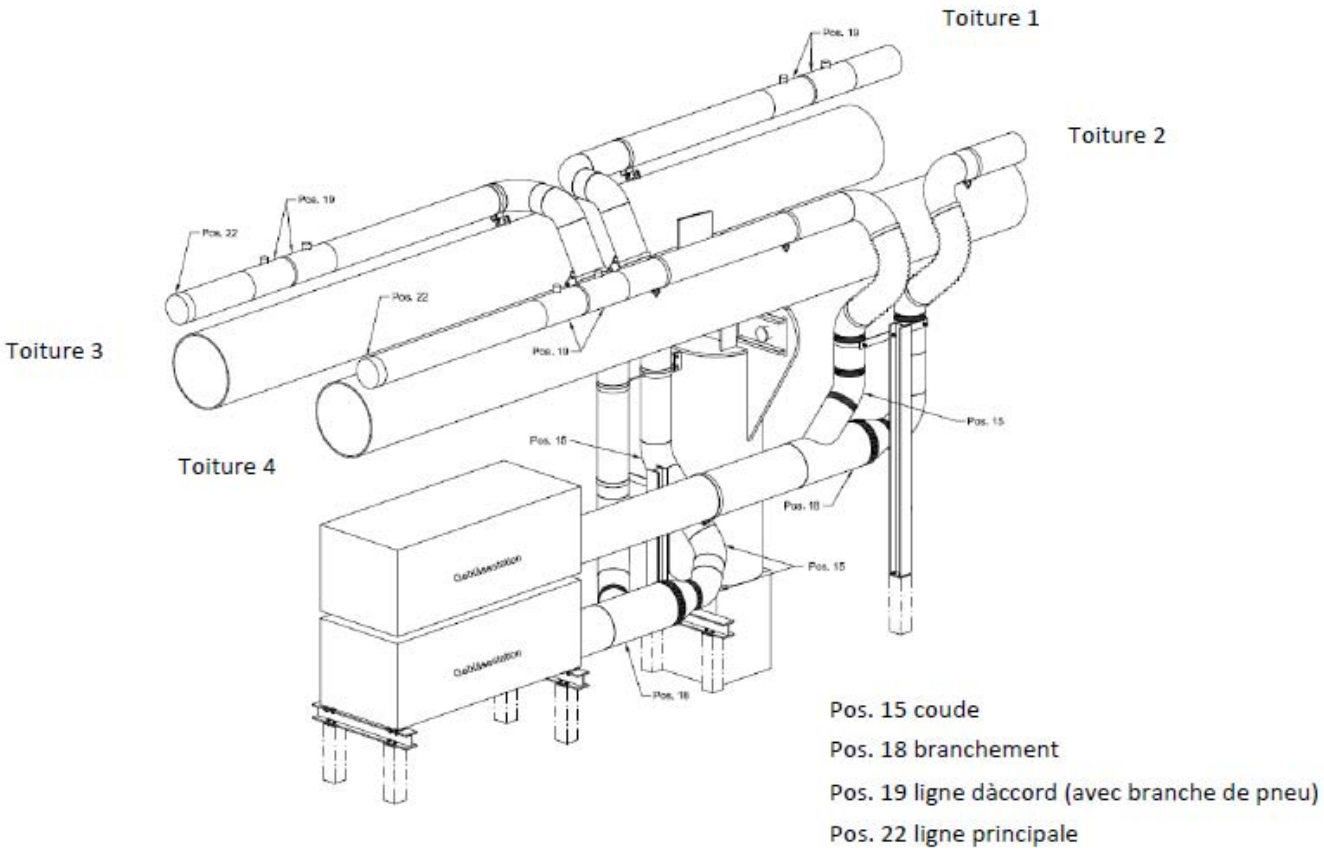


Figure 13 – Principe d'alimentation d'air des coussins ETFE en parallèle

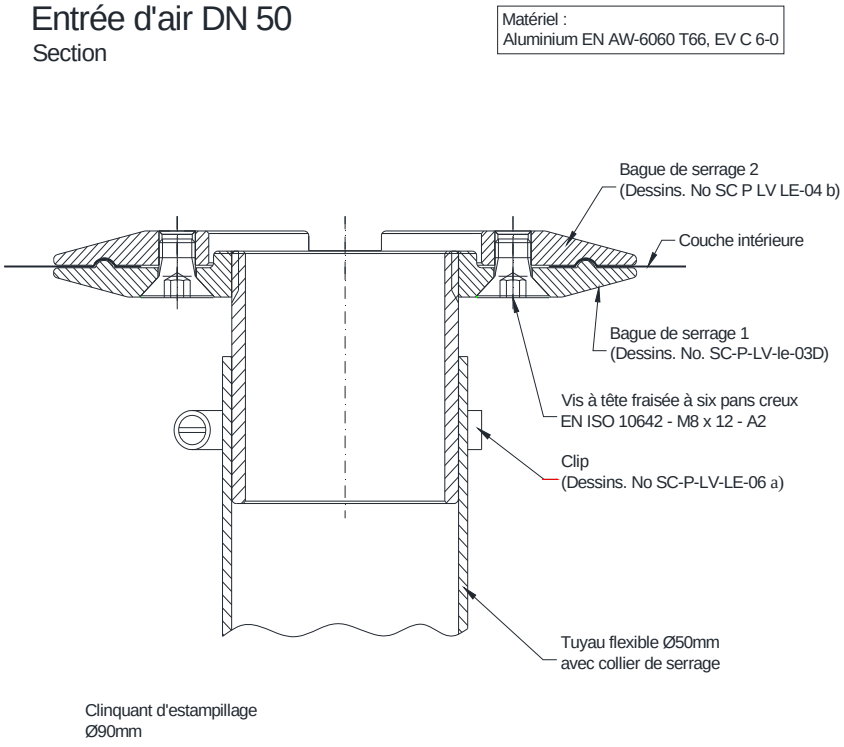
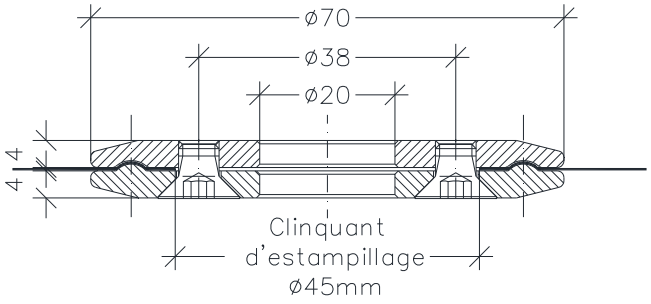


Figure 14 – Détail d'entrée d'air pour tuyau flexible DN50

Sortie d'air

SECTION

Matériel :
Aluminium EN AW-6060 T66, EV C 6-0



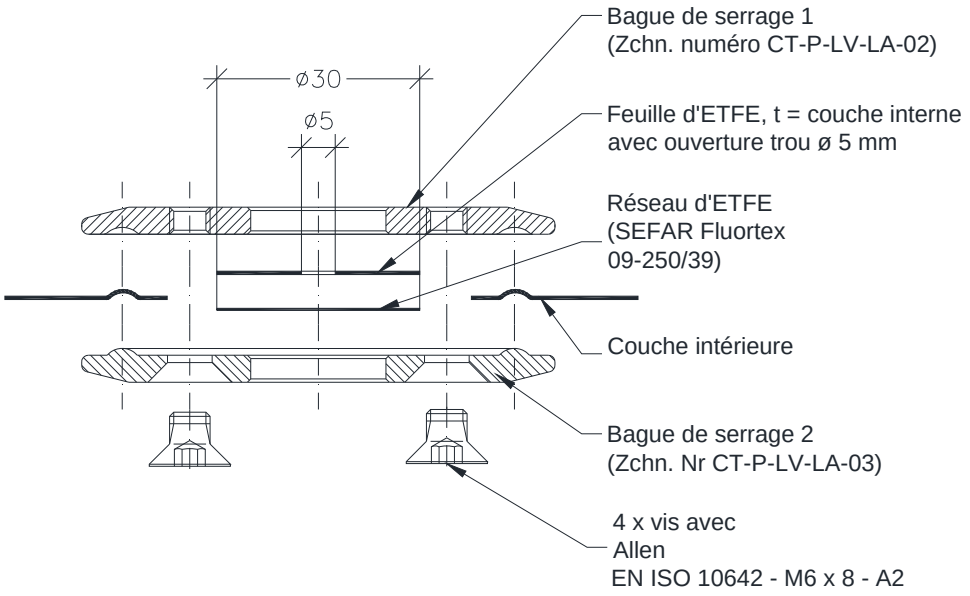
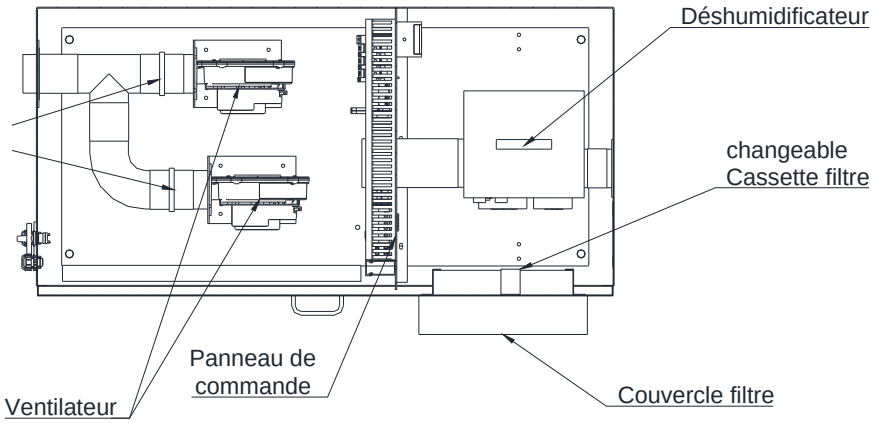


Figure 15 –Détail de sortie d'air pour tuyau flexible



Affaire pieds

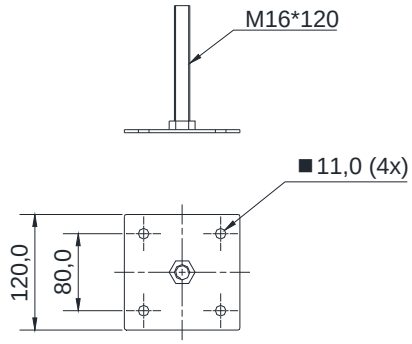


Figure 16 –Détail de l'équipement de gonflage

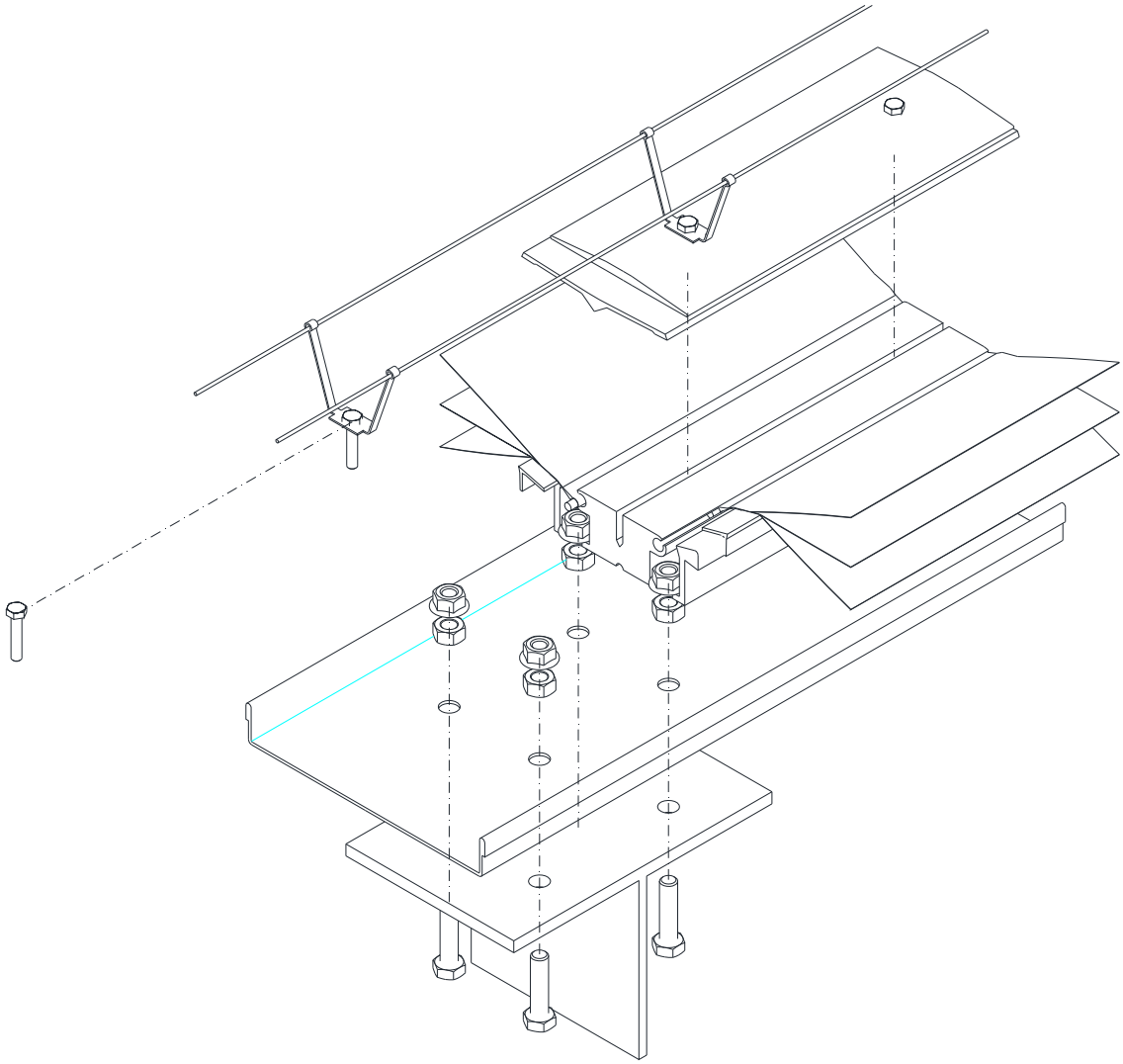


Figure 17 - Vue éclatée d'un système de fixation avec ligne de vie(profilé SC-01)

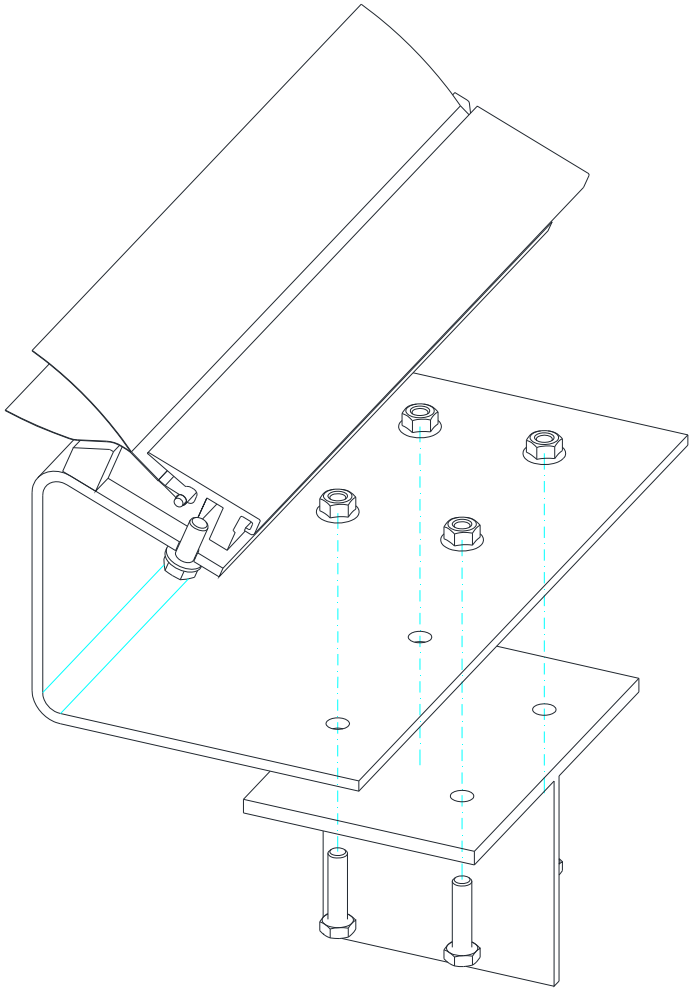


Figure 18 – Vue éclatée d'un système de fixation avec ligne de vie (profilé SC-02)

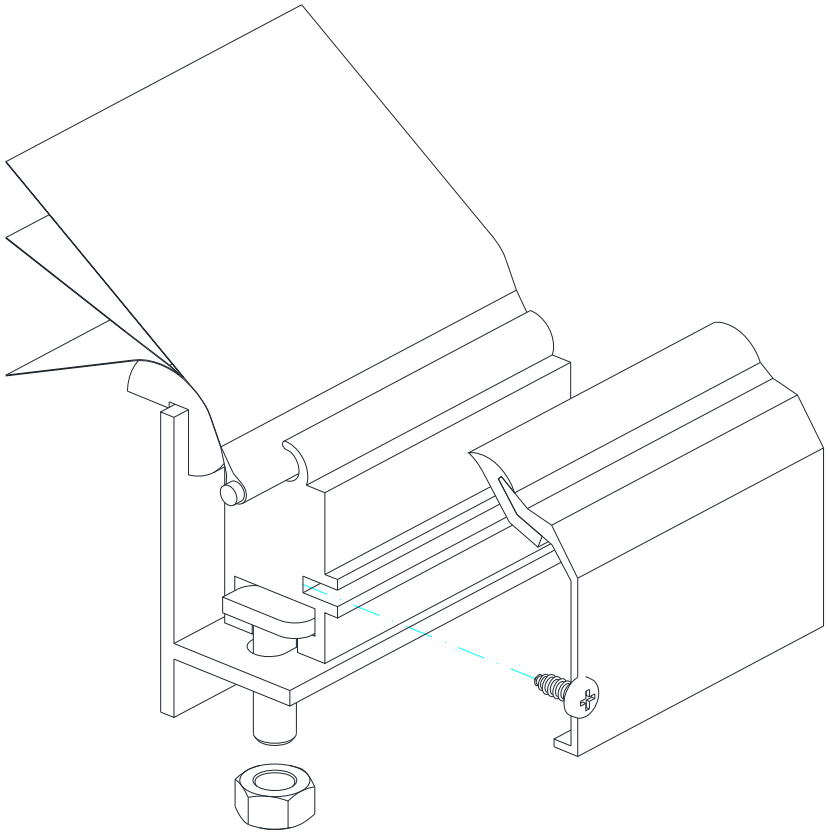


Figure 19 – Vue éclatée d'un système de fixation avec ligne de vie (profilé SC-11)